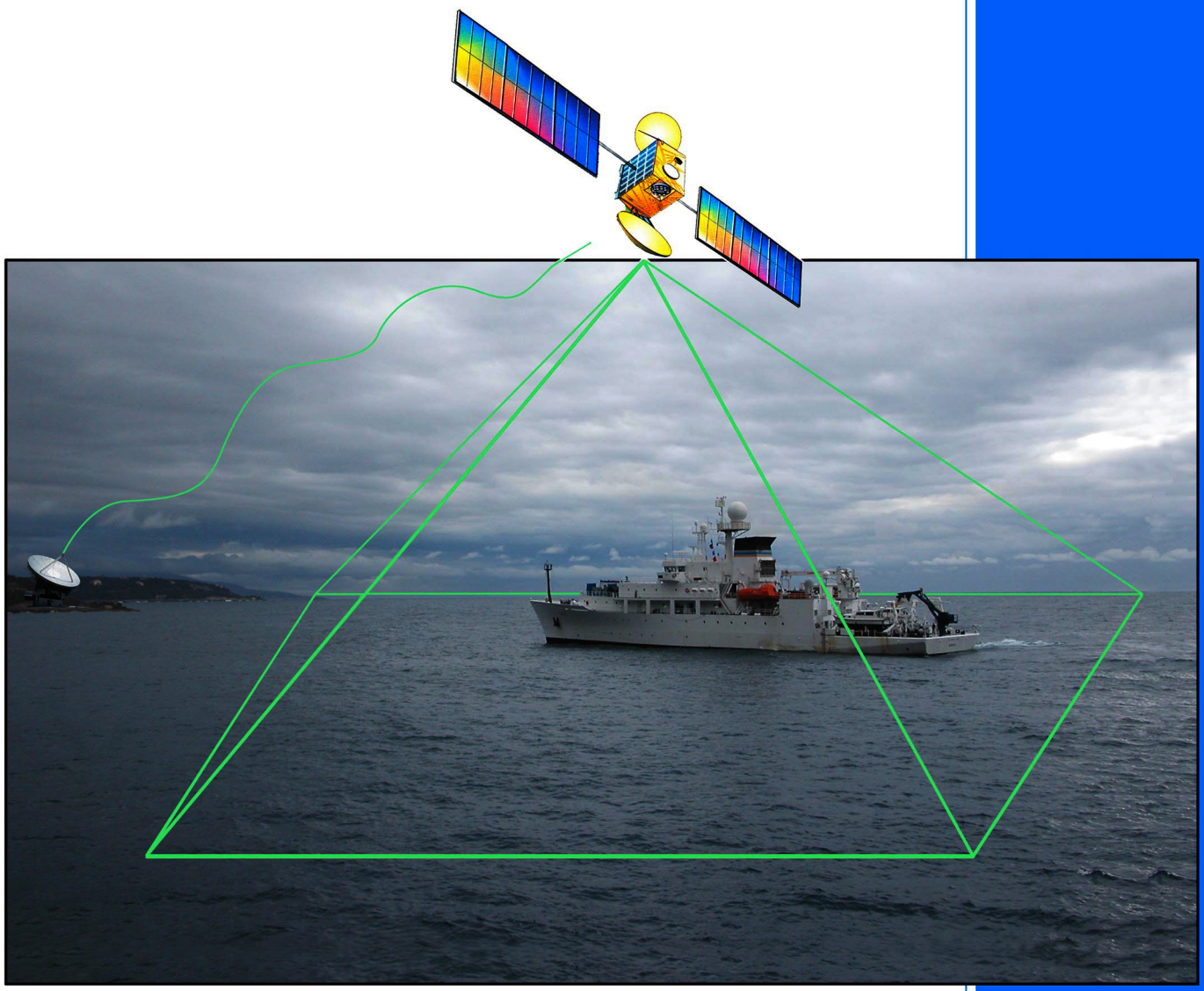
ORGANIZACIÓN HIDROGRÁFICA INTERNACIONAL

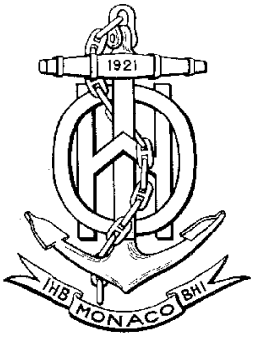


MANUAL DE HIDROGRAFÍA

Publicada por el Bureau Hidrográfico Internacional, Mónaco 2006

M-13

ORGANIZACIÓN HIDROGRÁFICA INTERNACIONAL



MANUAL DE HIDROGRAFÍA

Publicación C-13

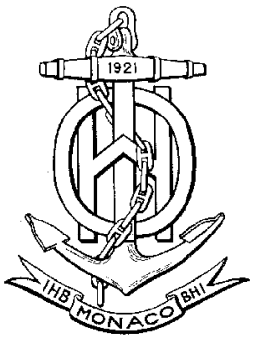
1ra Edición
Mayo 2005
(Correcciones a Abril 2010)

PUBLICADO POR EL BUREAU

HIDROGRÁFICO INTERNACIONAL

M Ó N A C O

ORGANIZACIÓN HIDROGRÁFICA INTERNACIONAL



MANUAL DE HIDROGRAFÍA

Publicación C-13

1ra Edición
Mayo 2005
(Correcciones a Abril 2010)

Publicado por el
Bureau Hidrográfico Internacional
4, Quai Antoine 1er
B.P. 445 - MC 98011 MONACO Cedex
Principado de Mónaco
Telefax: (377) 93 10 81 40
E-mail: info@ihb.mc
Web: www.iho.int

PREFACIO

El objetivo general del Manual de Hidrografía de la OHI es proveer el conocimiento de los conceptos relacionados con hidrografía así como de guiar en el planeamiento y la ejecución de levantamientos hidrográficos. Se considera que el Manual es una guía profesional para los expertos en levantamientos hidrográficos y una herramienta para los profesores y estudiantes que participan en cursos y programas hidrográficos.

La preparación de este Manual comenzó después de que la mayoría de los estados miembros (EM) de la OHI respaldó desarrollar un proyecto que podría dar lugar a un Manual Hidrográfico (1999). La OHI propuso entonces el establecimiento de un Grupo de Trabajo que se reunió por primera vez en las instalaciones de la OHI, del 20 al 22 de junio de 2001, en donde se acordó la tabla de contenido; se identificaron los líderes de los equipos que se ocuparían de los temas específicos y que serían responsables de la compilación de las contribuciones de los expertos, y se definió un programa de trabajo. En 2004 se realizó una segunda reunión para repasar el resultado obtenido y para decidir sobre una versión preliminar del Manual. Después de recoger comentarios de los miembros del Grupo, se preparó la versión final y se publicó el Manual Hidrográfico de OHI.

El Manual es considerado un producto valioso que contribuye a la misión de la OHI, cuyos objetivos son:

- La coordinación de las actividades de las Oficinas Hidrográficas Nacionales.
- La mayor uniformidad posible de las cartas y documentos náuticos.
- La adopción de métodos confiables y eficientes para la realización y explotación de los levantamientos hidrográficos.
- El desarrollo de las ciencias en el campo de la hidrografía y las técnicas empleadas en la oceanografía descriptiva.

Hay que reconocer que varias Oficinas Hidrográficas (OH) han hecho grandes esfuerzos en la preparación y actualización de sus versiones del Manual Hidrográfico, casi desde su establecimiento, pero la falta de los recursos, de tiempo y mano de obra requeridos para esta actividad han imposibilitado a varias OH el continuar con esta práctica, conviniendo en la necesidad de cooperar y de coordinar los esfuerzos para la preparación de un Manual Hidrográfico de la OHI. Un Manual que pudiera ser útil a todos, con aspectos específicos sobre hidrografía y otras materias en términos generales ya que éstas son consideradas con mayor propiedad y detalle en los libros de textos existentes.

El contenido del Manual se divide en siete capítulos:

- El capítulo 1 se refiere a los principios del levantamiento hidrográfico, incluyendo sus especificaciones.
- El capítulo 2 se refiere al posicionamiento.
- El capítulo 3 a la determinación de la profundidad, incluyendo los principios y las técnicas usadas.
- El capítulo 4 proporciona información sobre clasificación del fondo marino y detección de objetos.
- El capítulo 5 se refiere en detalle a los niveles y al flujo de las aguas,
- El capítulo 6 se dedica al levantamiento topográfico aplicado a la hidrografía.
- El capítulo 7 proporciona, en forma estructurada, detalles completos de la práctica hidrográfica.
- Anexos con acrónimos, bibliografía y otra información relevante.

Es responsabilidad del BHI mantener este Manual actualizado, utilizando los aportes de los EM´s y otras organizaciones a quienes se exhorta a proveer al BHI la información relevante para estos fines. Si es necesario, el BHI solicitará asesoramiento del Consejo Asesor Internacional de la FIG/OHI/ACI para el establecimiento de las Normas de Competencia de los Hidrógrafos y Cartógrafos Náuticos a fin de incluir el nuevo material y/o de organizar los capítulos importantes.

El BHI mantendrá una versión digital de este Manual en la página Web de la OHI e imprimirá copias a petición de los interesados. Con la colaboración de los lectores y de los Estados Miembros, el BHI cumplirá con el propósito de mantener esta publicación al día.

El BHI agradece particularmente al Almirante Ritchie del Reino Unido por su apoyo y motivación al escribir la introducción de este Manual.

El BHI quisiera agradecer a los siguientes autores principales por su esfuerzo al preparar el texto final y reconocer el apoyo y asistencia que les fue brindado por muchos otros que no aparecen nombrados:

Capitán Muhammad ZAFARYAB (Pakistán), Comandante Lamberto LAMBERTI (Italia), Teniente de Fragata Antonio DI LIETO (Italia), Teniente Comandante Paul LAWRENCE (RU), Teniente Comandante Fernando FREITAS (Portugal), Teniente Comandante Peter JOHNSON (Australia), Comandante Jerry MILLS (EEUU), Sr. Stephen GILL (EEUU), Sr. Federico MAYER (Argentina), Sr. Hector SALGADO (Argentina), Teniente Comandante Bob WILSON (RU) y Teniente Comandante David WYATT (RU).

_____

TABLA DE CONTENIDO

PREFACIO ..... **i**

INTRODUCCIÓN **1**
Breve historia de la Hidrografía 1
Importancia de la Hidrografía 2
Áreas de competencia asociadas con la Hidrografía 3

CAPÍTULO 1: "PRINCIPIO DE LOS LEVANTAMIENTOS HIDROGRÁFICOS" **7**
1. Introducción **7**
2. Levantamiento Hidrográfico **8**
2.1 Especificaciones de un levantamiento 8
2.2 Planificación del levantamiento 13
2.3 Recolección de datos 15
2.4 Procesado de datos 15
2.5 Análisis de los datos 17
2.6 Calidad de los datos 18
2.7 Calidad de los datos - Presentación 19
2.7.1 Carta de diagramas de fiabilidad 19
2.7.2 Zonas de Confianza (ZDC) 19
2.8 Producción de los datos 23
2.9 Sistema de Información Náutico (SIN) 24
2.9.1 Proceso de recopilación 26
2.9.2 Presentación 28

Anexo A – Acrónimos **31**
Referencias **32**
Direcciones URL **33**
Bibliografía **34**

CAPITULO 2: "POSICIONAMIENTO" **37**
1. Introducción **37**
2. Principios de Posicionamiento **37**
La Tierra 38
2.1.1 El Elipsoide 39
2.1.2 La esfera local 40
2.1.3 El geoide 40
2.2 El Datum 40
2.2.1 El Datum horizontal 41
2.2.2 Tipos de Datum 42
2.2.3 La transformación del Datum 43
2.2.4 Datum vertical 45
2.3 Sistemas de coordenadas 47
2.4 Principios de cartografía 47
2.5 Proyecciones 49
2.5.1 Proyecciones en perspectiva (o geométricas) 49
2.5.2 Proyecciones cónicas 49
2.5.3 Proyecciones cilíndricas 49
2.5.4 Representaciones 50
2.5.5 Proyección Universal Transversal Mercator (UTM) 52
3. Métodos de Control Horizontal **53**
3.1 Introducción 53
3.2 Método clásico 53

3.2.1 Triangulación....53
3.2.2 Trilateración....58
3.3 Método mixto....59
3.3.1 Poligonal....61
3.3.2 Poligonal abierta no orientada (iso-determinada)....61
3.3.3 Poligonal abierta orientada (hiperdeterminada)....62
3.3.4 Poligonal cerrada no orientada....64
3.4 Método fotogramétrico....66
3.4.1 Aerofotogrametría....67
3.5 Intervisibilidad de las estaciones geodésicas....70
4. Métodos de Control Vertical....72
4.1 Nivelación geométrica....72
4.1.1 Principios y especificaciones....72
4.1.2 Medidas y control de calidad....74
4.1.3 Fuentes de error....74
4.1.4 Cálculo y compensación....74
4.2 Nivelación trigonométrica....76
4.2.1 Principios y especificaciones....76
4.2.2 Corrección por esfericidad....77
4.2.3 Corrección por refracción....78
4.2.4 Corrección de altura....79
4.2.5 Fuentes de error....79
4.2.6 Cálculos y compensación....80
4.3 Altimetría con GPS....81
5. Instrumentos utilizados para establecer el apoyo (Control) Horizontal y del Vertical ..82
5.1 Receptor GNSS (GPS)....82
5.2 Instrumento electrónicos....82
5.2.1 Medición Electrónica de Distancias mediante fase....82
5.2.2 Medición Electrónica de Distancias mediante pulsos....84
5.2.3 Precisión y distancia de EDM....86
5.2.4 Estaciones Totales....87
5.3 Instrumentos ópticos....87
5.3.1 El sextante marino (Círculo de reflexión)....87
5.3.2 Teodolitos....88
5.3.3 Instrumentos de nivelación (Niveles) y estadía....90
6. Métodos de Posicionamiento (Técnicas de Posicionamiento)....91
6.1 GNSS (GPS)....91
6.1.1 Descripción del Sistema de Posicionamiento Global (GPS)....91
6.1.2 Principios de posicionamiento....93
6.1.3 Rendimiento del sistema y fuentes de error....94
6.1.4 Seguimiento del GPS y técnicas de adquisición de señal....96
6.1.5 DGPS....98
6.1.6 RTK....99
6.1.7 Tratamiento de los datos....100
6.2 Sistemas electromagnéticos....102
6.2.1 Exactitud en la determinación de la posición....103
6.2.2 Líneas de Posición (LOPs)....104
6.2.3 Líneas de Posición de Circulares (CLOPs)....104
6.2.4 Líneas de Posición Hiperbólicas (HLOPs)....105
6.2.5 Métodos para determinar líneas de posición de ondas electromagnéticas (EW LOPs)....105
6.2.6 Medidas de diferencias de fase....105
6.2.7 Medidas de diferencia de tiempo....107
6.3 Sistemas acústicos....107
6.3.1 Técnicas acústicas....108

6.3.2 Principios de medición 112
6.3.3 Exactitud y fuentes de error 115
6.4 Técnicas ópticas 116
6.4.1 Posicionamiento por línea de referencia (Sondeo de cable) 117
6.4.2 Posicionamiento de resección del sextante (Intersección Inversa) 117
6.4.3 Posicionamiento por triangulación/intersección (Intersección directa) 117
6.4.4 Posicionamiento de distancia-acimut (Sistema mixto óptico y electromagnético) 117

Referencias 118
Bibliografía 120

CAPÍTULO 3: "DETERMINACIÓN DE LA PROFUNDIDAD" 122
1. Introducción 122
2. Principios de los Sensores Acústicos y de Movimiento 123
2.1 Las ondas acústicas marinas y características físicas 123
2.1.1 Campo acústico 123
2.1.2 Ecuación del sonar 128
2.1.3 Temperatura 128
2.1.4 Salinidad 129
2.1.5 Presión 129
2.1.6 Densidad 129
2.2 Determinación de la salinidad, la temperatura y la velocidad del sonido 129
2.2.1 Instrumentación 130
2.2.2 Operación del instrumento 130
2.2.3 Procesado y registro de datos 131
2.2.4 Cálculo de la velocidad del sonido 131
2.3 Propagación del sonido en agua marina 131
2.3.1 Atenuación 131
2.3.2 Refracción y reflexión 132
2.4 Parámetros acústicos 133
2.4.1 Frecuencia 133
2.4.2 Ancho de banda 133
2.4.3 Longitud del pulso 134
3. Sensores de Movimiento 135
3.1 Principios de operación 135
3.1.1 Sensores inerciales 135
3.1.2 Sensores inerciales con la integración de información GPS 136
3.2 Medición del rolido, cabeceo y balanceo 136
3.3 Aproamiento 137
3.4 Precisión 137
4. Transductores 138
4.1 Clasificación en relación a la operación 138
4.1.1 Magnetostrictivo 138
4.1.2 Piezoeléctrico 138
4.1.3 Electrostrictivo 139
4.2 Ancho del haz 139
4.3 Clasificación en relación al tipo de haz 146
4.3.1 Haz único 146
4.3.2 Multihaz 147
4.4 Clasificación según su instalación 147
4.4.1 Fijo en la quilla 148
4.4.2 Remolcado 148
4.4.3 Portátil 148
4.5 Cobertura 150

5. Sistemas Acústicos 151
5.1 Ecosondas de Haz único 151
5.1.1 Principios de operación 151
5.1.2 Instalación y calibración 155
5.1.3 Operación y registro de los datos 157
5.1.4 Fuentes de error y técnicas de control de calidad 157
5.2 Sistemas de bandas 167
5.2.1 Los sistemas de Multihaz 168
5.2.2 Sonares interferométricos 182
6. Sistemas No Acústicos 183
6.1 Sistemas Láser Aerotransportados 183
6.1.1 Principios de operación 183
6.1.2 Capacidades y limitaciones 185
6.2 Sistemas Electromagnéticos Aerotransportados 185
6.2.1 Principios de operación 187
6.2.2 Capacidades y limitaciones 187
6.3 Teledetección 187
6.3.1 Fotobatimetría 187
6.3.2 Otros 187
6.4 Sistemas Mecánicos 188
6.4.1 Línea principal y vara de sondeo 188
6.4.2 Barrido de barra 189
6.4.3 Barrido de cable 190

Referencias 191
Bibliografía 193

Anexo A Sistemas de Coordenadas y Referencia 197

CAPÍTULO 4: "CLASIFICACIÓN DEL FONDO MARINO Y DETECCIÓN DE ACCIDENTES" 201
1. Introducción 201
2. Detección de Accidentes del Fondo Marino 201
2.1 Antecedentes 201
2.2 Normas 201
2.2.2 OHI S-44 – Normas mínimas para levantamientos hidrográficos 202
2.2.3 OHI S-57 – Normas para la transferencia de los datos hidrográficos digitales 202
2.2.4 Detección de accidentes peligrosos 203
2.2.5 Requerimientos militares 204
2.2.6 Informe sobre los accidentes 204
2.3 Métodos de detección de accidentes 205
2.3.1 Descripción 205
2.3.2 Sonar de Barrido Lateral (SSS) 205
2.3.3 Consideraciones teóricas 206
2.3.4 Consideraciones operacionales 209
2.3.5 Distorsiones de los registros del sonar 211
2.3.6 Detección del accidente 213
2.3.7 Cálculo de la Velocidad de Avance (SOA) 215
2.3.8 Registro de errores 217
2.3.9 Uso práctico del Sonar de Barrido lateral 217
2.3.10 Errores de posición de los contactos del sonar 222
2.3.11 Trazado y mediciones desde los registros del sonar 222
2.3.12 Ecosondas Multihaz (MBES) 224
2.3.13 Consideraciones para usar el MBES 225

2.3.14 El Magnetómetro 225
2.3.15 Otros métodos para detectar accidentes 226
2.3.16 Obtención de la profundidad mínima definitiva sobre un accidente 227
2.3.17 Ecosonda de poca profundidad 227
2.3.18 Uso de Buzos 227
2.3.19 Otros métodos 228
2.3.20 Método de barrido con cable para naufragios 228
2.4 Registro del Sonar de Barrido Lateral 230
2.4.2 Registro de naufragios 231
2.4.3 Registro de cobertura del sonar 232
3. Clasificación del Fondo Marino 234
3.1 Antecedentes 234
3.1.2 Modelos de clasificación del fondo marino 235
3.1.3 Muestras del fondo marino 235
3.1.4 Naturaleza del fondo marino 236
3.1.5 Clasificación de muestras 236
3.1.6 Métodos para obtener las muestras del fondo marino 238
3.1.7 Registros de muestras del fondo marino 240
3.2 Clasificación de los sensores 240
3.3 Clasificación - Teoría 241
3.3.2 Imagen del dispersor 241
3.3.3 Registros de Barrido Lateral 242
3.3.4 Mosaico 243
3.3.5 Clasificación - General 244
3.3.6 RoxAnn 245
3.3.7 Clasificación usando MBES 246
3.3.8 Mapa de textura 247
3.3.9 Power Spectra 247
3.3.10 Matrices de co-ocurrencia de nivel de gris 248
3.3.11 Función de probabilidad de densidad de la amplitud pico del eco 248
3.3.12 Dependencia angular 249
3.3.13 Interpretación de los datos acústicos por radiación 250
3.3.14 Modelos de clasificación militar 251

Referencias 257

CAPÍTULO 5: "NIVELES DE AGUA Y FLUJO" 259
1. Introducción 259
2. Mareas y Niveles de Agua 259
2.1 Principios de las mareas y de los niveles de agua 259
2.1.1 Fuerzas astronómicas de producción de mareas 259
2.1.2 Características de las mareas 264
2.1.3 Variaciones del nivel de agua No-de Marea 272
2.1.4 Marea y Datums del nivel de agua 273
2.1.5 Análisis armónico y predicción de marea 274
2.2 Funciones de apoyo operacional 280
2.2.1 Consideraciones de error calculado 281
2.2.2 Planificación de los requerimientos del nivel de agua y marea 281
2.2.3 Zonificación de nivel de agua y marea preliminar 283
2.2.4 Operación de la estación de control de nivel de agua 285
2.2.5 Requisitos para estaciones de nivel de agua suplementarias 285
2.2.6 Procesado de los datos y la tabulación 290
2.2.7 Cálculo de los Datums de marea 293
2.2.8 Zonificación final y reductores de marea 296
2.2.9 Uso del GPS cinemático para el control vertical 299

3. Flujo del Nivel de Agua y Corrientes de Marea 299
3.1 Introducción 299
3.2 Principios de las corrientes de mareas 299
3.3 Mediciones de corrientes 302
3.4 Predicción de corrientes de mareas 304

Referencias 305

CAPÍTULO 6: "LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO" 307
1. Introducción 307
2. Topografía, Delineación de la Costa y Ayuda al Posicionamiento de Navegación 308
2.1 Especificaciones 308
2.2 Métodos de posicionamiento y precisiones 309
2.2.1 GNSS 309
2.2.2 Triangulación 313
2.2.3 Poligonal 317
2.2.4 Intersección e Intersección Inversa 325
2.2.5 Algoritmos usuales 329
2.2.6 La nivelación y sus errores 336
2.3 Levantamientos de costa y de terreno de puerto 337
2.3.1 Aplicación de los métodos topográficos directos 337
2.3.2 Densidad de los puntos a ser estudiados 337
2.3.3 Métodos Aplicables 337
2.3.4 Representación del Relieve 338
3. Percepción Remota 339
3.1 Fotogrametría 340
3.1.1 Principios y aplicaciones de las fotografías aéreas 341
3.1.2 Elementos de obtención de fotografías aéreas 343
3.1.3 Planificación del vuelo 344
3.1.4 Restitución 346
3.1.5 Aerotriangulación 347
3.1.6 Apoyo (Control) de Terreno 350
3.1.7 Generalidades sobre Restituidores. Procesado digital 351
3.1.8 Foto interpretación 352
3.2 Tratamiento de Imágenes de sensores remotos no fotogramétricos 353
3.2.1 Satélite y sensores para el sensor remoto de los recursos de la tierra 354
3.2.2 Principales sistemas de percepción remota 358
3.2.3 Estructura de Imagen y Soporte 364
3.2.4 Fundamentos de interpretación y procesado 366
3.2.5 Procesado previo de datos y datos complementarios 368
3.2.6 Procesado de imagen 370
3.2.7 Altimetría 378
3.2.8 Aplicación cartográfica 382

Acrónimos 387
Referencias 389
Direcciones URL 392
Bibliografía 395

Anexo A Algoritmos para la Representación Mercator Transversal 397
Anexo B Ejemplos de Equipo Comercial 411

CAPÍTULO 7: "PRÁCTICA HIDROGRÁFICA" 415
1. Introducción 415
2. Planificación de un Levantamiento Hidrográfico 415
2.1 El proyecto hidrográfico 415
2.2 Evaluación de una tarea de levantamiento 416
2.3 Planificación detallada del levantamiento 418
2.4 Control Horizontal 418
2.5 Control Vertical 418
2.6 Corrientes de mareas 419
2.7 Sondaje 419
2.8 Sonar de barrido lateral 420
2.9 Muestras del fondo marino 420
2.10 Delineación de línea costera, objetos conspicuos y topografía 421
2.11 Observaciones secundarias 421
2.12 Organización del equipo de levantamiento 421
2.13 Recolección y revisión de los datos 422
2.14 Requerimientos de presentación de los datos 422
2.15 Desarrollo del programa de operaciones 423
2.16 Duración de la operación y costos estimados 423
2.17 Relaciones con las autoridades externas 423
3. Reconocimiento del Levantamiento 424
3.1 Reconocimiento general 424
3.2 El reconocimiento geodésico 424
3.3 El reconocimiento de mareas 425
4. Adquisición de los datos 425
4.1 Control horizontal y calibración 426
4.1.1 Introducción 426
4.1.2 Control horizontal en tierra 426
4.1.3 Control horizontal en el mar 427
4.1.4 Preparación del campo 428
4.1.5 Alineación y calibración de los sistemas de posicionamiento 430
4.1.6 Métodos y equipos de control horizontal 431
4.2 Control vertical y calibración 457
4.2.1 Descripción general 457
4.2.2 Modelado de mareas para levantamientos RTK 458
4.3 Observaciones ambientales 462
4.4 Directrices de líneas 463
4.5 Chequeo de líneas 467
4.6 Líneas principales 467
4.7 Interlíneas e investigaciones 469
4.8 Observaciones auxiliares/misceláneas 470
5. Delineación de la línea costera 472
5.1 Delineación costera general 472
5.2 Detalles costeros requeridos 472
5.3 Detalles motivo de preocupación para el navegante 473
5.4 Topografía 473
5.5 Delineación de la línea de bajamar 474
5.6 Alturas de características terrestres 474
5.7 Cartografiar la playa 474
5.8 Calco de la línea costera 475
5.9 Uso de trazados de fotos aéreas 475
5.10 Métodos para delinear la costa 476
5.11 Trazado de la línea costera 477
5.12 Informe sobre la delineación de la línea costera 477

6. Procesado de los datos 478
6.1 Batimetría 478
6.2 Caracterización del fondo marino 480
6.3 Detección de accidentes 480
6.4 Observaciones complementarias/misceláneas 481
6.5 En conformidad con el plan 482
7. Presentación de los datos 482
7.1 El informe del levantamiento 482
7.2 Requerimiento de datos 482
7.3 Formato y densidad de los datos 483
7.4 Requerimiento de medios 483

Referencias 484

Bibliografía 486

Apéndice 1 – Guía de Estimación y Planificación de Levantamientos 489
Apéndice 2 – Tabla 1 – Sistemas de Posicionamiento Horizontal y Criterios de Selección 493
Apéndice 3 – Tabla 2 – Clasificación de los Anchos de Banda de los Sistemas de Posicionamiento Electrónicos usados en los Levantamientos Hidrográficos 495
Tabla 3 – Campo de Aplicación de los Sistemas de Posicionamiento Electrónico usados en los Levantamientos Hidrográficos 495
Apéndice 4 - Diagramas del Sistema 497
Apéndice 5 - Modelo de Informe de Levantamiento 507

INTRODUCCIÓN

BREVE HISTORIA DE LA HIDROGRAFÍA

La carta de navegación más antigua que se conoce es la carta de Pisano, lleva este nombre porque fue llevada a la Biblioteca Nacional de París por una familia de Pisa en 1829. Fue dibujada en una piel animal a finales del siglo XIII, probablemente en Génova en donde había sido establecida una escuela de cartografía marina; había también una escuela similar en Venecia, mientras que una tercera escuela fue desarrollada en la isla de Mallorca. Estas escuelas producían las cartas conocidas como "portulanos" que eran similares en estilo y contenido. La característica más llamativa era la interconexión de las líneas de rumbo obtenidas de la rosa de los vientos que representaba 32 direcciones de vientos, cada uno de los cuales se podía utilizar con los divisores para fijar el curso de los barcos. Toda la línea de costa mediterránea fue representada, los nombres de las costas fueron mostrados sobre tierra dejando el área marina libre para el posicionamiento. Había algunos símbolos incluyendo la cruz para la roca sumergida pero no existían sondeos de profundidad.

Los portulanos portugueses y españoles del Siglo XV permitieron a marinos mediterráneos el navegar al sur de Inglaterra y en Flandes para transportar lana.

Por generaciones los marinos norteños habían navegado de un rumbo a otro usando direcciones escritas y sondeos legados por sus antecesores, un método de pilotaje conocido como: "caping the ship". Con el desarrollo de la imprenta, Pierre Garcie de Rouen fue el primero en publicar la información sobre este método en su "Routier de la Mer" el cual ilustró con simples perfiles o vistas del área costera.

Cornelius Anthonisz, un proyectista de Amsterdam se dio cuenta que podían usarse bloques de madera para imprimir cartas en papel, y su primer trabajo fue el "Karte van Ostland" del mar Báltico y del Norte. A pesar de adoptar las líneas de rumbo y otras características de los portulanos, él utilizó la proyección de Ptolomeo que se había re descubierto recientemente en Constantinopla.

Anthonisz había demostrado el camino, pero fue Lucas Janszoon Waghenaer de Enkhuizen en Holanda quien, cuarenta años después, imprimió las cartas en papel utilizando el grabado en una placa de cobre. Por muchos años él había viajado extensamente como un "piloto" recopilando información hidrográfica y cuando regresó a tierra a la edad de 49 reclutó marineros para que le suministraran el material para compilar sus cartas. En 1584, Waghenaer publicó su gran atlas 'Spieghel der Zeevaerdt' (espejo del mar) que contiene 45 cartas que cubren las costas europeas de Noruega hasta el Estrecho de Gibraltar. Él introdujo muchas características nuevas tales como el reconocimiento de perfiles costeros detrás de las líneas de costa; reduciendo las distancias entre los puertos de modo que sus aproximaciones se pudieran mostrar a una escala mayor; la introducción de los símbolos para las boyas, los faros, pináculos de iglesia, y los sondeos se redujeron a su profundidad en la marea media.

Waghenaer había hecho el gran progreso de producir una carta de papel diseñada por un marino para los marinos. Él tenía un número de seguidores holandeses de modo que por más de 100 años las cartas holandesas estuvieron disponibles ampliamente, hasta de las aguas británicas; eventualmente el rey Carlos decidió que todas las costas y puertos británicos debían ser levantados.

Para esta tarea tan grande, seleccionó a un oficial naval llamado Greenville Collins, a quien le concedió el título de "Hidrógrafo del Rey" y le proporcionó el yate Merlín. El trabajo comenzó en 1681 y le tomó 11 años terminarlo.

No existía un mapa topográfico del Reino para que Collins pudiera comparar sus cartas, ni tampoco tenía un método para encontrar su longitud y solo el cuadrante para evaluar su latitud; sus sondeos reducidos a aguas de bajamar fueron fijados por marcaciones del compás de marcas en la orilla las cuales fueron fijadas por compás y cadenas de medición. En 1693 las cartas resultantes se publicaron en un atlas titulado "Derrotero de las costas de Gran Bretaña", el cual contenía 47 cartas y 30 páginas de tablas de mareas, rumbos de navegación y vistas de costa. En el grabado de las cartas se incluyeron los sondeos y las enfilaciones principales para la entrada a puerto etc. El derrotero atrajo al marino británico, un adicional de veinte ediciones fueron publicados durante los siguientes 100 años.

Durante el siglo XVI muchos de los pilotos del mar quienes navegaron hacia costas distantes crearon una Escuela de Hidrografía en Dieppe. En 1661 Jean Baptiste Colbert llegó a ser el jefe de ministros de Luis XIV y entre sus muchas tareas estaba la de revitalizar a la marina francesa. Él asumió el control no sólo de la escuela de Dieppe sino que también estableció centros hidrográficos similares en numerosos puertos franceses. Esto le permitió hacer el levantamiento de toda la línea de costa francesa, cada carta estaba conectada directamente con la triangulación nacional establecida por la dinastía de Cassini.

Los higrógrafos de Colbert estaban trabajando en Nueva Francia y la cantidad de material procedente de Quebec permitió la formación en París del "Depósito General de Cartas y de Planos", conocido hoy en día como la primera Oficina Hidrográfica Nacional. Dinamarca fue la siguiente nación en crear una Oficina Hidrográfica, seguida de cerca por los británicos en 1795; unos veinte países más establecieron sus propias oficinas en el siglo XIX.

Alrededor de 1775, dos topógrafos británicos, Murdoch Mackenzie y su sobrino del mismo nombre fueron en gran parte responsables de la invención del estimografo o estaciografo ("station point"), un dispositivo con el cual la posición del buque podía ser ploteada precisamente con la observación de dos ángulos horizontales entre tres marcaciones costeras. Éste fue un importante avance técnico que revolucionó los levantamientos marinos a lo largo del siglo XIX durante el cual la demanda por cartas de navegación para la guerra y la paz aumentó drásticamente.

Incluso antes de la Ia Guerra Mundial varios hidrógrafos nacionales consideraron cómo la cooperación internacional podría conducir al intercambio y a la estandardización del diseño de la carta. Con el fin de la guerra, los hidrógrafos británicos y franceses en conjunto convocaron a una conferencia internacional en la cual los delegados de 22 países se reunieron en Londres en junio de 1919. Muchas resoluciones referente a la estandardización de la carta y finalmente una resolución para formar una Oficina Hidrográfica Internacional con tres directores fueron adoptadas por la conferencia

S.S.A., el Príncipe Alberto I de Mónaco, quien había estado al tanto de los debates de la conferencia, generosamente acordó facilitar un edificio en su Principado para el funcionamiento de esta oficina donde sigue funcionando hasta la actualidad.

La historia de la hidrografía en el siglo XX, durante el cual ha habido muchos desarrollos tecnológicos, puede ser revisada en la edición conmemorativa del 75º Aniversario de la Revista Hidrográfica Internacional, fechada marzo de 1997.

IMPORTANCIA DE LA HIDROGRAFÍA

En primer lugar es necesario considerar la definición de hidrografía según la OHI, que dice lo siguiente:

> *Es una rama de las ciencias aplicadas que se ocupa de la medida y descripción de las características del mar y de las áreas costeras con el propósito primario de la navegación y el resto de los propósitos y actividades marinas, incluyendo actividades costa afuera, la investigación, la protección del ambiente, y servicios de predicción. (OHI Pub. S-32).*

Por lo tanto, el desarrollo de una Política Marítima Nacional requiere una capacidad bien desarrollada para conducir todas estas actividades lo cual permitirá obtener el conocimiento básico de las características geográficas, geológicas y geofísicas del fondo del mar y de la costa, así como de las corrientes, las mareas y ciertas propiedades físicas del agua de mar; todos estos datos deben ser procesados correctamente para luego representar exactamente la naturaleza del fondo del mar, su relación geográfica con la tierra y las características y la dinámica del océano en todas las zonas del territorio naval de la nación. En resumen, la hidrografía, por definición, es la clave para el progreso de todas las actividades marítimas, normalmente de gran importancia para la economía nacional.

Para tratar adecuadamente áreas de seguridad y operación eficiente del control de tráfico marítimo; administración de la zona costera; exploración y explotación de recursos marinos; protección del medio ambiente y defensa marina, es necesario crear un Servicio Hidrográfico. El Servicio Hidrográfico, a través de la recolección sistemática de datos de la costa y el mar, produce y disemina la información que sirve de apoyo a la seguridad de la navegación marítima y a la preservación, defensa y explotación del medio ambiente marino.

To adequately address areas such as:

- Safe and efficient operation of maritime traffic control;
- Coastal Zone Management;
- Exploration and Exploitation of Marine Resources;
- Environmental Protection;
- Maritime Defence.

It is necessary to create a Hydrographic Service. The Hydrographic Service, through systematic data collection carried out on the coast and at sea, produces and disseminates information in support of maritime navigation safety and marine environment preservation, defence and exploitation.

ÁREAS DE COMPETENCIA ASOCIADAS CON LA HIDROGRAFÍA

Transporte marítimo

Más del 80% del comercio internacional en el mundo es transportado por el mar. El comercio marítimo es un elemento básico para la economía de una nación. Muchas áreas y puertos en el mundo no tienen cobertura exacta ni adecuada de sus cartas náuticas. Las cartas náuticas modernas son necesarias para la navegación segura a través de las aguas de un país y costas cercanas y para la entrada en sus puertos. La falta de cartas náuticas adecuadas impide el desarrollo del comercio marítimo en las aguas y puertos de las naciones en cuestión.

La industria naviera necesita eficiencia y seguridad. Áreas cartografiadas pobremente y la carencia de información pueden hacer que los viajes sean más largos de lo necesario, y hasta pueden impedir el cargamento óptimo de naves, aumentando así los costos. El ahorro de tiempo y de dinero que resulta del uso de rutas más cortas y más profundas y del uso de naves más grandes o cargueros de gran calado pueden representar importantes ingresos económicos para la industria y el comercio nacional. Es también muy importante señalar que el capítulo V de la convención de SOLAS considera a una nave sin valor si ésta no lleva las cartas actualizadas necesarias para el viaje previsto.

Una solución a estos problemas no podría ser posible sin los mapas y cartas de alta calidad que se producen y actualizan continuamente y que son distribuidas por el Servicio Hidrográfico. Estas cartas, producidas por medio de levantamientos hidrógrafos modernos, son necesarias para permitir a los grandes buques de hoy navegar en aguas nacionales y entrar a los puertos cuyo acceso antes era inseguro y por lo tanto son herramientas esenciales para la creación de ingresos a las naciones costeras.

Las cartas modernas también proveen la información requerida para crear el sistema de ruta establecido por las convenciones internacionales y para satisfacer los intereses económicos de las naciones costeras.

Administración de las zonas costeras

La administración adecuada de la zona costera incluye puntos tales como la construcción de nuevos puertos, y el mantenimiento y el desarrollo de los ya existentes; operaciones de dragado para el mantenimiento de las profundidades cartografiadas y para el establecimiento, monitoreo y mejora de los canales; control de la erosión costera; recuperación de tierra del mar; para el establecimiento y monitoreo de los lineamientos que regulan la descarga de la basura industrial; extracción de depósitos minerales; las actividades de acuicultura; los proyectos de transporte y de trabajos públicos incluyendo la construcción de la infraestructura cercana a la costa.

Los levantamientos de escalas de alta precisión proporcionan los datos primarios esenciales para los proyectos que implican todos los aspectos mencionados anteriormente. Debido a los cambios rápidos que sufren las líneas de costa, estos levantamientos deben ser actualizados con la frecuencia dictada por el proceso de supervisión y de análisis. La información recogida por las Oficinas Hidrográficas sobre las zonas costeras proporciona la principal fuente de datos para los SIG (Sistemas de Información Geográficos) que se están utilizando cada vez más para una mejor administracion y toma de decisión con respecto a los usos conflictivos en las regiones costeras. Los usuarios de la información hidrográfica van más allá del grupo de usuarios tradicionales, los navegantes, incluyendo a las agencias gubernamentales, autoridades costeras, ingenieros y a científicos.

Exploración y explotación de los recursos marítimos

Aunque están diseñadas principalmente para apoyar la seguridad de la navegación, las extensas bases de datos almacenadas a lo largo de los años por las Oficinas Hidrográficas, junto a la variedad de sus productos y servicios, son de un considerable valor económico para ayudar a la administracion y a la explotación de recursos marinos naturales. En años recientes, ha sido más evidente que los servicios hidrográficos inadecuados no sólo restringen el crecimiento del comercio marítimo sino que también conducen a retrasos costosos en la exploración de recursos.

Las áreas sedimentarias de costa y costa afuera pueden contener depósitos minerales, en particular hidrocarburos, que requieren levantamientos adecuados para ser identificados. Si se confirma la existencia de hidrocarburos, ello conducirá a los países costeros a llevar a cabo el desarrollo de la producción de hidrocarburos, lo cual implica la interpretación de la morfología del fondo marino, la seguridad en la navegación para el transporte de esta carga peligrosa; la seguridad de las plataformas costa afuera y lo relacionado con los sistemas de transmisión en el fondo del mar, colocación de oleoductos y a la construcción de pozos de producción. Los datos batimétricos, de marea y meteorológicos proporcionados por un Servicio Hidrográfico son un elemento fundamental para el desarrollo de la industria de hidrocarburo.

La industria pesquera es también una fuente de riqueza. Los pescadores necesitan la información marina no solamente para la seguridad en la navegación de sus embarcaciones, sino también para el despliegue seguro de su aparejos de pesca, que prevendrá pérdidas costosas. Además, las cartas oceanográficas, compiladas y producidas por las Oficinas Hidrográficas, ahora están siendo utilizadas extensamente por la industria pesquera.

Las actividades de la industria pesquera necesitan cartas detalladas para:

- Evitar la pérdida de aparejos de pesca y de embarcaciones pesqueras que encallan en obstrucciones no detectadas o no reflejadas en las cartas.
- Identificar las áreas de pesca.

- Localizar las áreas prohibidas o limitadas para la pesca.

Esta clase de información está sujeta a cambios frecuentes y por lo tanto necesita constante actualización. Los levantamientos hidrográficos son esenciales para obtener la información oportuna y actualizada y deben ser repetidos periódicamente.

La tendencia de la ciencia pesquera moderna se orienta hacia la administración del hábitat, la batimetría y otros datos oceanográficos que proveerán el ingreso de datos importantes para la administración y el desarrollo apropiado de las especies.

Protección y administración del medio ambiente

Un factor esencial para la protección del ambiente es la navegación segura y exacta. Los desechos y derrames de petróleo son un factor destructor importante para la contaminación, las consecuencias económicas son más devastadoras de lo que se imagina, en algunos casos, se han calculado en 3.000 millones de dólares por un sólo incidente.

El valor de los servicios navieros para la protección del ambiente marino se ha reconocido internacionalmente. A este respecto, debe ser observado que el capítulo XII de la agenda 21 de la conferencia de las Naciones Unidas sobre el Ambiente y el Desarrollo (UNCED), llevada a cabo en 1992, reconoció que **"El cartografiado náutico es de vital importancia para la seguridad de la navegación".**

Ciencias marinas

Las ciencias marinas dependen en gran parte de la información batimétrica. Los modelos de marea y de circulación globales , los modelos locales y regionales para una amplia variedad de estudios científicos, la geología / geofísica marina, el despliegue y colocación de la instrumentación científica y muchos otros aspectos de la ciencia marina dependen de la batimetría proporcionada por los Servicios Hidrográficos.

Infraestructura nacional de los datos espaciales

En la era de la información, los gobiernos se han dado cuenta que la buena calidad y buena administración de los datos espaciales son un ingrediente esencial para el desarrollo económico y comercial, y para la protección del medio ambiente. Por esta razón muchas naciones están estableciendo infraestructuras de datos espaciales, reuniendo los servicios y las fuentes de los principales proveedores de datos espaciales a nivel nacional, por ejemplo, la topografía, geodesia, geofísica, meteorología, y batimetría. El Servicio Hidrográfico es una parte importante de la infraestructura nacional de datos espaciales.

Delimitación de límites marítimos

Los buenos datos hidrográficos son esenciales para la delimitación apropiada de los límites marítimos según lo detallado en la Convención de Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar.

Defensa marítima

Los marinos son los principales usuarios de cartas náuticas, y en tal sentido deben estar preparados para desplegarse en muchas áreas en el mundo y deben mantener una gran colección de cartas. Los riesgos asociados con al cargamento de municiones y material nuclear hacen que sea muy importante que estas embarcaciones tengan toda la información actualizada. Los datos y la información marina proporcionadas por las Oficinas Hidrográficas nacionales apoyan la variedad de productos usados en las operaciones navales. Las operaciones de superficie, submarinas, antisubmarinas, barre-minas y las operaciones navales aire-mar necesitan productos de información náutica muy diferentes unos de

otros. Los datos hidrográficos y oceanográficos necesarios para la preparación de tales productos deben estar disponibles si la inversión nacional en materia de defensa se va a optimizar.

Turismo

Las cartas óptimas son importantes particularmente para el desarrollo de la economía de la importante industria del turismo, especialmente para lo relacionado con los cruceros. El potencial de la industria de los cruceros es especialmente importante para los países en desarrollo. Esta fuente importante de ingresos no puede ser desarrollada correctamente si la seguridad de la navegación en los paisajes turísticos es interrumpida o limitada por la carencia de cartas adecuadas. El turismo es una de las industrias de mayor crecimiento del siglo XXI.

Navegación Deportiva

La comunidad de navegantes de recreación representa un porcentaje grande de marinos. Generalmente no es obligatorio que quienes practican la navegación de recreación lleven cartas y a menudo los marinos de recreación no ponen al día sus cartas; sin embargo, el advenimiento de la información digital de la carta hace posible que el navegante deportivo tenga información actualizada de las cartas actualizada disponible rápidamente junto con muchos tipos de información de valor agregado tal como la localización de las marinas, etc. Este desarrollo hace posible que los navegadores de recreación se conviertan en una parte más grande del mercado de datos hidrográficos, ya que cada vez crece el número de gente que es propietaria de un barco. Una vez más, la renta de este sector está creciendo significativamente en muchos países.

Como puede verse, es extremadamente difícil cuantificar las ventajas económicas y comerciales que fluyen de un programa hidrográfico nacional, pero varios estudios hechos por los Estados Miembros de la OHI han sugerido que la relación costo beneficio es aproximadamente de 1:10 para las naciones marítimas importantes. Es también cierto que los volúmenes de comercio marítimo están creciendo continuamente, y que en el futuro, la explotación y el desarrollo sostenible de las zonas marítimas nacionales se convertirán en una gran preocupación del gobierno y de la industria.

Debe también ser notado que, económicamente hablando, el programa hidrográfico nacional es considerado como de “interés público”. Es decir que los servicios necesarios requeridos en el interés público no podrán ser entregados en sus niveles más óptimos por los poderes del mercado solamente. En cada Estado Miembro de la OHI la disposición de servicios hidrográficos es una responsabilidad del gobierno central, como componente esencial del desarrollo económico nacional. Esta dimensión económica total e importante del trabajo ha sido opacada a veces por el énfasis en los intereses de los sectores atendidos por los Servicios Hidrográficos, y más recientemente por los requisitos legislativos o reguladores. La dimensión económica de la hidrografía merece mucha más atención de la que ha recibido en el pasado.

_____

CAPÍTULO 1
PRINCIPIOS DE LOS LEVANTAMIENTOS HIDROGRÁFICOS

1. INTRODUCCIÓN

El levantamiento hidrográfico se ocupa de la configuración del fondo y de las áreas terrestres adyacentes a los océanos, lagos, ríos, puertos, y otras formaciones de agua en la Tierra. En sentido estricto, el levantamiento hidrográfico es definido simplemente como el levantamiento de un espacio acuático; sin embargo, usualmente puede incluir una variedad amplia de otros objetivos tales como mediciones de mareas, corriente, gravedad, magnetismo terrestre, y determinaciones de las propiedades físicas y químicas del agua. El objetivo principal de la mayoría de los levantamientos hidrográficos, es obtener datos básicos para la compilación de cartas náuticas con énfasis en las características que pueden afectar la seguridad de la navegación. Otros objetivos incluyen la adquisición de la información necesaria para productos relacionados con la navegación marina y para la administración de la zona costera, la ingeniería y la ciencia[1].

El propósito del levantamiento hidrográfico es[2]:

- Recopilar, con levantamientos sistemáticos en el mar, en la costa, y en tierra firme los datos georeferenciados relativos a:

  - La configuración de la línea de costa, incluyendo las infraestructuras hechas por el hombre para la navegación marina. Ej. Todas aquellas instalaciones en tierra que sean de interés para los navegadores.
  - La profundidad en el área de interés (incluyendo todos los peligros potenciales para la navegación y otras actividades marítimas).
  - La composición del fondo marino.
  - Las mareas y corrientes.
  - Las propiedades físicas de la columna de agua.

- Procesar la información recolectada de forma ordenada para crear las bases de datos organizadas capaces de alimentar la producción de mapas temáticos, cartas náuticas y otros tipos de documentación para los más comunes usos como son:

  - Navegación y control de tráfico marítimos.
  - Operaciones navales.
  - Administración de la zona costera.
  - Preservación del ambiente marino.
  - Explotación de recursos marinos y la colocación de cables y tuberías submarinas.
  - Definición de los límites marítimos (Implementación del Derecho del Mar).
  - Estudios científicos.

Los navegantes no han cuestionado la buena fe de las cartas náuticas y donde no se muestran peligros, ellos creen que no existen. La carta náutica es un producto final de un levantamiento hidrográfico. Su precisión y adecuación dependen de la calidad de los datos recogidos durante los levantamientos[3]. Una carta náutica es una representación gráfica del ambiente marino; presentando la naturaleza y la

[1] Manual Hidrográfico de la NOAA – 1, 4 de julio, 1976, P-1-3, www.thsoa.org/pdf/hm1976/part1ch123.pdf

[2] Organización Hidrográfica Internacional, Mónaco, Servicios Nacionales de Políticas Marítimas e Hidrográficas (M-2), P-13.

[3] Manual Hidrográfico de NOAA Parte-1, Edición julio 4, 1976, P-1-3 www.thsoa.org/pdf/hm1976/part1ch123.pdf

forma de la costa, las profundidades del agua, la característica general y la configuración del fondo del mar, la localización de los peligros a la navegación, la bajamar y la pleamar, las informaciones de ayudas artificiales a la navegación, y las características del magnetismo de la Tierra. La forma real de una carta puede variar de una carta tradicional de papel a una carta electrónica.

Una carta electrónica no es simplemente una versión digital de una carta de papel; introduce una nueva metodología de navegación con capacidades y limitaciones muy diferentes a las de las cartas de papel. La carta electrónica se ha convertido en el equivalente legal de la carta de papel tal como fue aprobada por la Organización Marítima Internacional. Las divergencias en el propósito han conducido a la publicación de varias cartas de "nueva generación". Las cartas batimétricas desarrolladas con datos digitales o creados con datos de ecosondas multihaz permiten que el relieve subacuático sea visualizado por medio de varios tonos de azul e isóbatas. De manera semejante, los mosaicos de sonar de barrido lateral han sido publicados en forma de cartas o de atlas para caracterizar las grandes estructuras geomorfológicas. Tales cartas no tienen, como objetivo, la seguridad a la navegación; sino que se enfocan en el conocimiento del ambiente requerido para la navegación submarina, la investigación oceanográfica o la aplicación industrial, tales como colocación de cables, minería del fondo del mar y explotación petrolera.

El levantamiento hidrográfico está experimentando cambios fundamentales en la tecnología de la medición. Los sistemas multihaz acústicos y láser aerotransportados ahora proporcionan cobertura y medición casi total del fondo marino con respecto a muestreos anteriores hechos por perfiles batimétricos. La capacidad para posicionar los datos con exactitud en el plano horizontal ha crecido enormemente gracias a la disponibilidad de los sistemas de posicionamiento satelital, particularmente cuado se recurre a técnicas diferenciales. Este avance tecnológico ha sido particularmente significativo, ya que los navegantes pueden posicionarse con mayor precisión que con los datos sobre los cuales están basadas las antiguas cartas[4]

2. LEVANTAMIENTO HIDROGRÁFICO

2.1 Especificaciones de un levantamiento

Este capítulo describe los Órdenes del Levantamiento que se consideran aceptables para permitir a las Oficinas Hidrográficas/ Organizaciones producir productos para la navegación que permitirán al tráfico marítimo navegar con seguridad a través de las áreas levantadas. Los requisitos varían con respecto a la profundidad del agua y por los tipos de embarcaciones que se espera naveguen en el área; por tal motivo, se han definido cuatro órdenes de levantamiento; cada uno diseñado para solventar una gama de necesidades. Para clasificar de una manera sistemática los diferentes requerimientos de precisión en las aéreas que deben ser levantadas, cuatro ordenes de levantamiento han sido definidos por la OHI en la publicación S-44 5a edición 2008. Estos son descritos en los siguientes párrafos. La Tabla 1 resume el conjunto de los requerimientos pero debe ser leída en conjunto con la norma.

2.1.1 Orden Especial Este es el más riguroso de los órdenes y su uso se destina solamente para aquellas áreas donde es crítica la separación entre la quilla de las embarcaciones y el fondo marino (quilla-fondo). Donde esta separación es crítica se requiere una búsqueda completa del fondo y el tamaño de los rasgos a ser detectados por esta búsqueda se mantiene deliberadamente pequeño. Puesto que la separación quilla-fondo es crítica, se considera inverosímil que los levantamientos de orden especial sean conducidos en aguas más profundas a 40 metros. ¶Los ejemplos de las áreas que pueden justificar levantamientos de orden especial son: áreas de atraque, puertos y áreas críticas de los canales de navegación.

[4] Organización Hidrográfica Internacional, Mónaco, Servicios Nacionales de Políticas Marítimas e Hidrográficas (M-2), P-19.

2.1.2 Orden 1a Este orden se destina para aquellas áreas donde el mar es suficientemente poco profundo como para permitir que rasgos naturales o artificiales en el fondo marino constituyan una preocupación para el tráfico marítimo esperado que transite el área, pero donde la separación quilla - fondo es menos crítica que para el orden Especial. Donde puedan existir rasgos artificiales o naturales que sean de preocupación para la navegación, se requiere una búsqueda completa del fondo marino, no obstante el tamaño de la característica a ser detectadas es más grande que para las de Orden Especial. En donde la separación quilla – fondo llega a ser menos crítica a medida que la profundidad aumenta, el tamaño de la característica a ser detectada por la búsqueda completa del fondo marino también es incrementada a partir de aquellas áreas donde la profundidad es mayor que 40 metros. Los levantamientos de Orden 1a pueden ser limitados para aguas más bajas que 100 metros.

2.1.3 Orden 1b Este Orden es apropiado para áreas menos profundas que 100 metros, donde una descripción general del fondo marino es adecuada para el tipo de embarcaciones que se espera transiten por el área. No se requiere una búsqueda completa del fondo marino, lo que significa que algunas rasgos pueden ser perdidos, aunque el máximo espaciamiento entre líneas permisibles limitará el tamaño de los rasgos que probablemente permanecerán in-detectadas. Este Orden de levantamiento se recomienda solamente donde la separación quilla-fondo no sería considerado un problema. Un ejemplo sería un área donde las características del fondo son tales que la probabilidad de que exista un rasgo artificial o natural en fondo marino que represente un peligro para la navegación esperada en el área sea bajo.

2.1.4 Orden 2 Este Orden es el menos riguroso y se destina para aquellas áreas donde la profundidad es tal que una descripción general del fondo marino se considera adecuada. No se requiere una búsqueda completa del fondo marino. Se recomienda que los levantamientos de Orden 2 estén limitados para áreas más profundas que 100 metros, ya que una vez que la profundidad excede los 100 metros, la existencia de rasgos artificiales o naturales que sean lo suficientemente grandes como para afectar a la navegación y que todavía permanezcan in-detectados por un levantamiento de orden 2, se considera improbable.

TABLA 1
Estándar Mínimo para Levantamientos Hidrográficos
(Para ser leído en conjunto con el texto completo de este documento)

Referencia	Orden	Especial	1a	1b	2
Capítulo 1	Descripción de áreas	Áreas donde la separación quilla-fondo es crítica	Áreas de profundidades menores de 100 metros donde la separación quilla-fondo es menos crítica, pero podrían existir rasgos de interés para la navegación.	Áreas de profundidades menores de 100 metros donde la sepa-ración quilla-fondo no se considera de interés para el tipo de buque que se espera transite por el área	Áreas generalmente más profundas a 100 metros donde se considera adecuada una descripción general del fondo marino.
Capítulo 2	Máximo THU permitido 95% Nivel de confianza	2 metros	5 metros + 5% de profundidad	5 metros + 5% de profundidad	20 metros + 10% de profundidad
Para 3.2 y nota 1	Máximo TVU permitido 95% Nivel de confianza	a= 0.25 metros b= 0.0075	a= 0.5 metros b= 0.013	a= 0.5 metros B= 0.013	a= 1.0 metros b= 0.023
Glosario y nota 2	Búsqueda Completa del Fondo Marino	Requerido	Requerido	No requerido	No requerido
Para 2.1 Para 3.4 Para 3.5 Y nota 3	Detección de rasgos	Rasgos cúbicos > 1 metro	Rasgos cúbicos > 2 metros en profundidades hasta 40 metros; 10 % de la profundidad cuando ésta es mayor a 40 metros	No aplicable	No aplicable
Para 3.6 y nota 4	Máximo espaciamiento recomendado entre líneas principales	No definido ya que se requiere una búsqueda completa del fondo marino.	No definido ya que se requiere una búsqueda completa del fondo marino.	3 x profundidad promedio o 25 metros, cual-quiera que sea mayor, para LIDAR bati-métrico espaciamiento entre puntos de 5 x 5 metros	4 x profundidad promedio
Capítulo 2 y nota 5	Posicionamiento de ayudas a la navegación fijas y topografía de interés para la navegación (95 % de Nivel Confidencia)	2 metros	2 metros	2 metros	5 metros

Capítulo 2 y nota 5	Posicionamiento de línea de costa y topografía de menos interés para la navegación (95 % de Nivel Confidencia)	10 metros	20 metros	20 metros	20 metros
Capítulo 2 y nota 5	Posición media de ayudas a la navegación flotante (95 % Nivel de Confidencia)	10 metros	10 metros	10 metros	20 metros

(El Texto completo de la 5ª Edición de la S-44 se encuentra disponible www.iho.int)

Nota:

1: Reconociendo que existen incertidumbres constante y dependientes de la profundidad que afectan la incertidumbre de las profundidades, la fórmula descrita a continuación será utilizada para computar, al 95% de nivel de confianza, el TVU máximo permitido. Los parámetros "a" y "b" para cada orden, según lo dado en la tabla, junto con la profundidad "d" tienen que ser introducidos en la fórmula para calcular el máximo TVU permisible para una profundidad específica:

$$\pm\sqrt{a^2+(b\times d)^2}$$

Donde:

a Representa la porción de la incertidumbre que no varía con profundidad
b Es un coeficiente que representa la porción de la incertidumbre que varía con profundidad
d Es la profundidad
b x d Representa la porción de la incertidumbre que varía con profundidad

2: Con propósitos de la seguridad en la navegación, el uso de un barrido mecánico específico puede ser considerado suficiente para levantamientos de Orden Especial y Orden 1a con la finalidad de que garantice una mínima profundidad segura a través de un área.

3: Un rasgo cúbico significa un cubo regular; es decir, cada lado tiene la misma longitud. Debe ser observado que la detección de rasgos cúbicos de 1 metro y de 2 metros son requisitos mínimos para el Orden Especial y el Orden 1a de la OHI respectivamente. En ciertas circunstancias puede ser necesario que las Oficinas Hidrográficas / Organizaciones establezcan la detección de rasgos más pequeñas para minimizar el riesgo de peligros para la navegación no detectados. Para el Orden 1a, el relajamiento en el criterio de detección de rasgos hasta los 40 metros refleja el calado máximo esperado en los buques.

4: El espaciamiento entre líneas puede ser ampliado si se utilizan procedimientos para asegurar una densidad de sonda adecuada. "Espaciamiento entre líneas máximo" debe ser interpretado como:

- Espaciamiento de las líneas de sondaje para la ecosonda mono haz, o la
- Distancia entre los límites externos usables de los barridos para los sistemas del barrido.

5: Éstos se aplican solamente donde tales mediciones se requieren para el levantamiento.

2.2 Planificación del levantamiento

La planificación de un levantamiento cubre una amplia gama de actividades desde el desarrollo de una idea para un levantamiento dentro de la Oficina de Hidrografía y su subsiguiente impresión como Instrucciones del Proyecto / Instrucciones Hidrográficas (IH), hasta la planificación de los detalles y la organización de la nave utilizada en el levantamiento para completar una tarea práctica. Cubre también el acuerdo interdepartamental a nivel gubernamental, cooperación diplomática y la asignación de numerosos y costosos recursos. También cubre la priorización de los recursos y el día a día del buque empleado en el levantamiento. La planificación del levantamiento incluye la adhesión de todos estos componentes para obtener un patrón coherente que está dirigido a cumplir la tarea específica.

Un levantamiento comienza mucho antes de que se empiece a recolectar los datos. Algunos elementos, que deben decidirse, son[5]:

- Área exacta del levantamiento
- Tipo de levantamiento (reconocimiento o normal) y escala para determinar las normas de la carta a ser producida.
- Cobertura del levantamiento (corto o largo plazo)
- Plataformas disponibles (buques, lanchas, aviones, acuerdos cooperativos).
- Trabajo de apoyo requerido (fotografía aérea o satelital, geodesia, mareas).
- Factores limitantes (presupuesto, factores políticos u operacionales, limitaciones de los sistemas de posicionamiento, logística).

Una vez se han decidido estos aspectos, se revisa toda la información disponible de la zona a levantar. Esto incluye fotografías aéreas, datos satelitales, mapas topográficos, cartas náuticas existentes, información geodésica, información de mareas y cualquier cosa adicional que pueda afectar el levantamiento. La Oficina Hidrográfica normalmente tomará la planificación estratégica de los levantamientos en cooperación con otras organizaciones y, de aquí, las Instrucciones del Proyectos / Instrucciones Hidrográficas (IHs) deben ser recopiladas por el Hidrógrafo y editadas para su aprobación. Los detalles suministrados en las Instrucciones del Proyecto / Instrucciones Hidrográficas (IHs) incluirán todos o algunos de los siguientes puntos, dependiendo del tipo de levantamiento solicitado[6]:

- Límites del levantamiento
- Requerimiento de datos y resolución
- Método de control de posicionamiento, junto a la precisión esperada.
- Empleo del sonar
- Cómo se va a entregar el reporte con la fecha prevista si es apropiado.
- Una descripción general y algunas veces detallada de la razón para las prioridades del levantamiento, los métodos a utilizar, las observaciones particulares y cualquier otra guía o instrucción relevantes.

Adicionalmente, los apéndices de la IHs darán instrucciones o guías sobre los siguientes puntos:

- Datum Horizontal, proyección y reticulado a utilizarse.
- Naufragios en el área
- Datum de marea y observaciones necesarias

[5] Bowditch -The American Practical Navigator, P-411, http://www.irbs.com/bowditch/

[6] Admiralty, Instrucciones Generales para Levantamientos Hidrográficos (GIHS), Sexta Edición, 1992, P- 5-3.

- Instrucciones particulares en relación a la recolección de datos con respecto a oceanografía, geofísica, derroteros, fotografías aéreas etc.

Al recibir las Instrucciones de Proyecto / IHs, los planificadores del levantamiento deben compilar la información de velocidad de sonido, climatología, los datos de transparencia del agua, y datos de levantamientos anteriores, información de los libros de faros, las direcciones de navegación y de los avisos para los navegantes. La información de las mareas se revisa completamente y se escogen las ubicaciones. Los datos verticales locales se revisan para ver si cumple con los estándares esperados. El control horizontal se revisa para comprobar la exactitud o discrepancias y para determinar los sitios para ubicar los sistemas de posicionamiento que se van a usar en el levantamiento.

El desarrollo de un plan general de levantamiento y sus subsiguientes planes específicos crearán un levantamiento más eficiente. El levantamiento general enfoca la manera como los levantamientos se planifican, realizan y procesan. Este plan debe estar muy bien pensado y debe tomar en cuenta tantas contingencias como sea posible. Esta planificación incluye entrenamiento, software, equipos de mantenimiento y sus respectivas actualizaciones, logística, todos los requisitos de la data, programación, seguridad y clima. El levantamiento específico enfoca notificaciones locales, líneas de levantamiento, datum, densidad de la data, y personal específico y personal que cumplirá con lo establecido en el plan general. Algunas cosas están en esta lista:

- El entrenamiento de los encargados del levantamiento debe ser atendido mientras se esté realizando un levantamiento con la finalidad de asegurarse que las competencias apropiadas se mantienen.

- El software de registro de los datos y el de proceso son herramientas críticas de un levantamiento. Deben ser amigables y el personal que se encargue de ellas debe conocer muy bien todas sus funciones.

- Se debe seleccionar el equipo y la plataforma de levantamiento apropiada. Algunos equipos se pueden prestar para ciertos tipos de levantamientos y otros serán de uso más general. Es importante que se haga una selección apropiada.
- El propósito del levantamiento normalmente indicará el requerimiento de la data (densidad, cobertura y precisión) sin embargo, Si no hay impacto en el costo y en el programa, se deben atender todas los requerimientos posibles.

- La programación es un elemento crítico del levantamiento hidrográfico. La data requerida normalmente tiene una fecha de entrega asignada, de manera que la recolección de la data y el proceso ocurran dentro del mismo marco de tiempo. Esto nos lleva a considerar que el personal y el equipo sean los adecuados para poder cumplir con esta necesidad. En algunos casos, si no se puede cumplir con la programación, no se solicitará el levantamiento y se utilizarán otros recursos. Considerando esto, es importante que se planifiquen y analicen todos los aspectos del plan general de levantamiento con la capacidad de cumplir con la programación como primer elemento.

- La seguridad es la consideración principal. Es competencia de la persona que está a cargo de levantamiento el evalúo de cada situación para descartar situaciones de peligro. Si se identifica un riesgo, éste debe tratarse antes de continuar con la actividad.

- Se debe llevar las notificaciones a las autoridades locales / oficina de capitanía de puertos con suficiente tiempo de antelación para que los marineros puedan ser informados.

- Las líneas de levantamiento para estudios con multihaz deben seguir los contornos del fondo del puerto. Esto reducirá los cambios en la cobertura del fondo creados por las diferencias de profundidad. Sin embargo, cuando se utiliza un equipo de haz simple, las líneas deben correr

perpendicularmente a los contornos. Esto ayudará a determinar los cambios en el relieve del fondo. Las líneas de estudio de multi haz también deben estar separadas hasta que se logre la cantidad apropiada de solapamientos o densidad de la data para cumplir con el estándar del estudio.

- Una parte integral de la data de un levantamiento es el datum de referencia. Se necesita, con buena experiencia en el área, indicar claramente con la nota del levantamiento publicado, la referencia vertical y horizontal usadas y los procedimientos usados para establecer el datum del estudio. El WGS-84 se utiliza mundialmente.

- La densidad de los datos variará según el método de estudio, la profundidad del agua y la necesidad. El método del estudio se determinará por el equipo disponible para el estudio, el personal y las condiciones del sitio a estudiar. Si sólo se dispone de un sistema de estudio de haz simple, la densidad de la data será menor. Con un sistema multi haz, a mayor profundidad del agua la data será menos densa, a menos que se hagan pasos múltiples. El tipo de estudio indicará la redundancia de los datos o los requerimientos de solapar los datos.

- Es importante estandarizar los equipos tanto como se pueda para limitar el entrenamiento, el mantenimiento y los costos.

2.3 Recolección de datos

La recolección de los datos va a depender de varios factores. Los requerimientos del estudio, la plataforma y el equipo disponible y el tiempo específico para cada actividad particular determinará la cantidad de datos que se debe recolectar. Una gran cantidad de datos se puede recolectar con la última tecnología de software hidrográfico y otras herramientas como el ecosonda de haz múltiple. En particular, el propósito de un estudio usualmente dictará la fuente de los datos requerida (densidad de los datos, cobertura y precisión de los datos) Sin embargo, si no hay impacto en el costo o en el programa, se puede recolectar todos los datos posible durante el levantamiento en el campo. La recolección de los datos debe ser hecha de una manera metódica comenzando en un extremo del área y terminando en el otro.
Se debe notar que la redundancia de los datos y la densidad no son la misma cosa. La densidad de los datos es el número de sondeos por unidad de área, mientras que la redundancia se refiere al solapamiento de los datos recolectado en un diferente momento en la misma posición. El tipo de levantamiento define los requerimientos de la redundancia de los datos o el solapamiento de los datos. Los estudios de mayor cobertura cubren más la densidad de la datos para asegurarse que todo las características / obstrucciones del fondo se hayan localizado. Esto debe estar muy claro por ambos, los que solicitan el levantamiento y los que lo hacen para asegurar la concordancia con los estándares especificados por la OHI.

2.4 Procesado de datos

El procesado de los datos se debe hacer bajo un estricto control de calidad. Los datos hidrográficos son recolectados por sistemas automáticos o convertidos a un formato automático. El proceso final de los datos y el delineado se completan utilizando sistemas de computación a bordo o en la oficina. Una aproximación estándar de un estudio hidrográfico es el de la metodología se recolectar-procesar-recolectar[7]. Los datos recolectados son procesados y las zonas con áreas con datos dudosos o con espacios deben ser re-levantados. La mayoría de los sistemas hidrográficos pueden realizar operaciones “en campo”, donde se recolecta un dato de estudio, se procesa, delinea o analiza, todo en el campo. Se necesita la planificación comprensiva del levantamiento para una aproximación

[7] B. Bourgeois, F. Petry, M. Harris & P. Alleman, “A GIS Integration Approach for Dynamically Reconfigurable Surveys”, The Hydrographic Journal, enero 1999, P 3-10.

integrada que genere la línea base de todas las operaciones en tiempo-real o post proceso con el sistema. A continuación se da un ejemplo de este modelo[8]:

Datos + Proceso = Trabajo

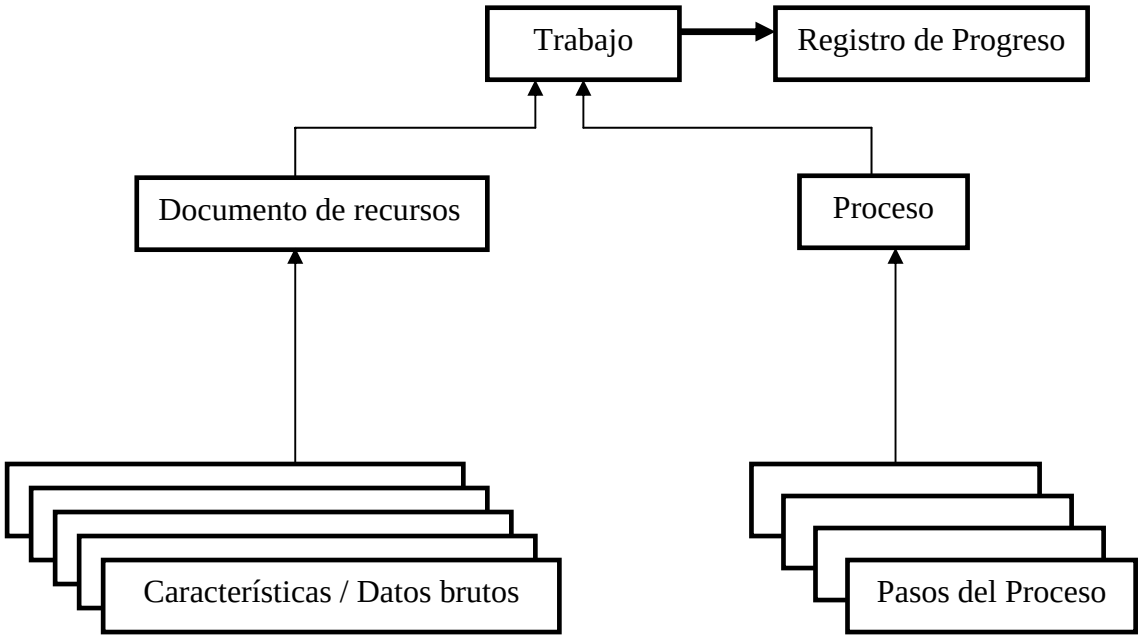


Fig. 1.1 "Modelo del procesado de datos"

Este modelo describe los distintos procesos que pueden idealmente manipular la información hidrográfica. El proceso contiene varios pasos. Los comentarios de cada paso del proceso junto a sus resultados, estadísticas deben ser registrados en el registro de progreso. Adicionalmente, El tipo y la calidad de la información de cualquier dato nueva pueden ser descritos en el documento de características que se guarda en la base de datos.

El requisito fundamental del procesado de datos es la generación de datos válidos; que hayan sido procesados suficientemente ej. Que haya pasado por varios procesos en varios momentos o representados de forma tal que se pueda evaluar. Estos pasos para el proceso / procedimientos pueden aplicarse en tiempo real o en el post-proceso pero tienen que asegurar que el producto final cumple con los estándares y las especificaciones definidas por la OHI.

Se debe tener sumo cuidado cuando se procesen los datos brutos. Se debe asegurar que se han eliminado todos los errores y se han hecho las correcciones necesarias Ej. que se hayan aplicado los factores del sistema de calibración y los sensores o los valores variables como los perfiles de la velocidad del sonido y los valores de las mareas para la reducción de sondeos. El proceso debe dirigirse al uso de todos los recursos de información disponibles para confirmar la presencia de sondeos importantes de navegación y de calidad de datos. Unos cuantos pasos del procesado

[8] Pentti Junni & Ralf Lindgren, "The Hydrophic Information System – Co-operation, Concept and Future", Finish Maritime Administration, http://www.esri.com/library/userconf/proc97/proc97/pap619/p619.html

subrayados a continuación deben ser interpretados únicamente como una indicación incluyendo su secuencia, y no son necesariamente exhaustivos[9]:

- **Posición:** Combinar el posicionamiento de los datos desde varios sensores (si es necesario), calificar el posicionamiento de los datos, y eliminar los saltos de posición.

- **Correcciones de profundidad:** Las correcciones se deben aplicar a los cambios del nivel del agua, las medidas de los sensores de posición, y los cambios de la quilla de la nave estudiada. (ej. Cambios pequeños con la velocidad; cambios en el tiempo causados por el consumo de gasolina). Es posible reprocesar los datos para los que se hicieron correcciones en tiempo real.

- **Correcciones de comportamiento:** Los datos de comportamiento (cabeceo, bandeo, dirección) deben ser calificados y los saltos en los datos deben ser eliminados.

- **Velocidad del Sonido:** Deben calcularse y aplicarse las correcciones debido a las refracciones: Si ya se aplicaron estas correcciones en tiempo real durante el levantamiento, es posible anularlas usando otro equipo de velocidad de sonido con la llegada del MBES, la aplicación del S V se ha puesto crítica.

- **Combinación de posiciones y profundidades:** Es la compensación de tiempo (sincronización) y la geométrica entre los sensores tienen que ser tomadas en cuenta.

2.5 Análisis de los datos

La precisión de los resultados del levantamiento debe ser siempre citada para mostrar que tan buenos o confiables son éstos. Ya que ningún equipo está completamente libre de errores, de hecho, todos los errores se introducen en todas las observaciones. Además, los errores se introducen en los cálculos de aproximaciones de fórmula o por redondeo. Las técnicas de observación están designadas para eliminar todos los errores así sean al azar, que pueden ser entonces analizados por técnicas rigurosas para calificar la precisión de las observaciones. La siguiente lista muestra los procedimientos, para eliminar varios errores y sus tamaños:

ERROR	TAMAÑO	ELIMINACIÓN
Serio	Grande	Entrenamiento, procedimientos de cuidado.
Constante	Generalmente pequeño pero fijo	Calibración o procedimientos
Periódico	Generalmente pequeño pero variable	Procedimiento (repetición), incluso para errores grandes.
Al azar	Generalmente pequeño	Solo se reducen con la repetición.

Los errores constantes, sistemáticos y periódicos se consideran como “errores sistemáticos”. Los errores constantes y sistemáticos son acumulativos, y por ende no pueden ser reducidos con la repetición. Los errores al azar están presentes en todas las observaciones; el resultado no puede ser “exacto” nunca. Estos errores tienden a ser tanto positivos como negativos y es más probable que sean de tamaño pequeño.

[9] IHO, Monaco, Circular Letter 45/2001, “Guidelines for the Processing of High Volume Bathymetric Data”, Párrafo-3. 2, fecha 5 Oct 01.

Es importante decir que ningún método de ajuste puede dar una solución exacta a las observaciones imprecisas. Todos los errores distintos de los pequeños al azar deben ser eliminados antes del ajuste. Sin embargo, es posible aislar un error "sistemático" por medio del análisis, asegurándose que los datos disponibles son suficientes. Es preferible saber cuando los errores constantes / sistemáticos están presentes en las observaciones. Los errores constantes son difíciles de detectar algunas veces y se pueden descubrir durante el cálculo o en los chequeos especiales, ej., Se puede saber cuando un cristal de telurómetro está mal calibrado si éste se compara con otro. Los errores periódicos y los de al azar pueden ser detectados analizando una serie de observaciones. La diferencia algebraica entre cada observación y el significado de todas las observaciones es llamada el Residuo de esa observación. Si sólo están presentes los errores al azar, los Residuos variarán al azar en magnitud y muestra. Si los errores sistemáticos están presentes las magnitudes y /o las muestras de los residuos mostrarán divisiones sistemáticas. Para ayudar al análisis de los datos, se debe mencionar los atributos de los datos brutos y de los metadatos para una evaluación subsiguiente.

2.6 Calidad de los datos

La Calidad se refiere "a la aptitud para el uso". Se refiere al máximo punto en que un grupo de datos, o un mapa de salida satisfacen las necesidades de la persona que lo está evaluando. Un error es la diferencia entre los datos existentes y los datos verdaderos. Un error es un aspecto muy importante cuando se habla de calidad. Generalmente se utiliza como un término para describir todos los tipos de efectos que puede causar que los datos se alejen de lo que debería ser[10]. Para permitir una evaluación comprensiva de la calidad de los datos del levantamiento, es necesario registrar o documentar cierta información junto a la data del levantamiento. Esta información es importante para permitir que diferentes usuarios con distintos requerimientos exploten los datos del levantamiento, especialmente porque estos requerimientos no se conocen cuando se están recogiendo los datos. El proceso para documentar los datos se llama atribución de los datos; la información sobre la calidad de los datos se llama meta datos. Los Meta datos deben tener al menos información de[11]:

- El levantamiento en general como por ejemplo, fecha, área, equipo utilizado, nombre de la plataforma de estudio.
- El sistema de referencia geodésica utilizado, ej. Datum horizontal y vertical, incluyendo la relación con el WGS 84 si se utilizó un datum local.
- Procedimientos de calibración y sus resultados.
- Velocidad del sonido
- Datum de mareas y su reducción
- Precisión lograda y sus niveles de correspondencia respectivos.

Los Meta datos deben estar presentados preferiblemente en forma digital y deben tener grabada una parte integral del levantamiento. Si esto no es posible se debe incluir en la documentación del levantamiento información similar. La calidad en los datos se logra con un efectivo control de calidad con propósitos automáticos o manuales[12].

- **Control de calidad automático (No-interactivo):** En éste, las coordenadas (ej. Las posiciones y las profundidades) obtenidas deben ser controladas automáticamente por un programa usando algoritmos estadísticos que hayan tenido resultados eficaces y repetibles y que estos hayan sido documentados, probados y demostrados.

[10] Patrick McGlamery, "Issues of Authenticity of Spatial data", University of Connecticut USA, 66th IFLA Council and General Conference, http://magic.lib.uconn.edu.

[11] Organización Hidrográfica Internacional, Mónaco, Estándares OHI para Levantamientos Hidrográficos (S-44), Seccion 5.2, 5ª edición 2008.

[12] OHI, Mónaco, Circular Letter 45/200, "Guidelines for the Procesing of High Volume Bathymetric Data", Para-3. 3, dated 5 Oct 01.

- **Control de calidad manual (interactivo):** En éste, el uso de herramientas de visualización 3-D es altamente recomendado. Estas herramientas permiten visualizar los datos utilizando su sistema de acercamiento (zoom). El sistema interactivo de procesado puede ofrecer distintos modos de muestrario para la visualización, Ej., el diagrama de profundidad, de error, el perfil sencillo, de haz sencillo, imágenes por radiación etc. y debe permitir la visualización de los datos del levantamiento en conjunto con otra información útil como por ejemplo, la línea de la costa, los desechos, las ayudas para la navegación etc.; la edición de los datos debe ser posible en todos los modos y debe incluir un récord auditable. Si se puede, los muestrarios de los datos deben ser geo-referenciados. Las banderas colocadas durante el estado automático, que corresponden a la profundidad más baja que a las áreas cercanas, requieren de la acción operativa explícita, al menos, para los estudios de Orden Especial y de Orden 1. Si el operador invalida las banderas impuestas durante el período automático, se debe documentar. Si una bandera es colocada por el operador, la bandera debe indicar esto con su tipología.

2.7 Calidad de los datos – Presentación

2.7.1 Carta de diagramas de fiabilidad

Tradicionalmente, la calidad de los datos batimétricos ha sido un procedimiento subjetivo. Para un usuario, la calidad de los datos que se presenta es evaluada con el diagrama de fiabilidad de los datos. Este diagrama se muestra como un inciso marginal en la carta indicando las áreas estudiadas y los detalles correspondientes, ej., escala, línea de espaciado, año del levantamiento. Desafortunadamente, la naturaleza de la información mostrada en el diagrama de fiabilidad y la habilidad de calificar la calidad de los datos es muy limitada. Por ejemplo, si el usuario de la carta no está al tanto de lo que significa un área de barrido con un sonar pre 1970 o lo que significa la línea de espaciado en “n” metros, entonces el diagrama de fiabilidad es de muy poco uso para determinar la calidad de los datos de profundidad mostrada.

El concepto original del diagrama de fiabilidad era el de clasificar la calidad de los datos del levantamiento y de representar las diferentes clasificaciones de un diagrama en términos de alta, buena o baja calidad. El diagrama estaba dirigido a dar al marino la capacidad de evaluar el peligro de desviarse del curso recomendado. Sin embargo, hay una preocupación latente sobre la complejidad del diagrama de fiabilidad y la creciente dificultad de mantenerlo de una manera simple para el usuario de la carta. Si estos son muy complicados, los diagramas de fiabilidad se vuelven difíciles de crecer como actividad cartográfica, serán propensos a errores en su construcción y su uso sería ignorado por los marinos.

Los diagramas de fiabilidad están lejos de alcanzar el propósito fundamental de dar al marino una indicación sobre la calidad de los datos y en una forma muy simple. Además, dada la capacidad precisa de navegación que los ENC y el ECDIS facilitan, los usuarios requieren una evaluación de la calidad de los datos a obtener más definitiva para que puedan utilizar los datos disponibles prudencialmente. Entonces, se requiere una alternativa para el diagrama de confiabilidad para que funcione como indicador de calidad final.

2.7.2 Zonas de Confianza (ZDC)

El concepto ZDC fue desarrollado por la OHI como un método para clasificar los datos batimétricos. ZDC provee al navegante de una forma simple y lógica la confianza que la autoridad marítima otorga a una selección particular de los datos batimétricos. Busca clasificar áreas para la navegación identificando varios niveles de confianza, que pueden ser colocadas en los datos resaltados usando una combinación de los criterios siguientes:

- Exactitud de la posición y de la profundidad,

- Revisión minuciosa del fondo marino, y
- Concordancia con el plan de calidad aprobado.

Bajo este concepto, se desarrollaron seis ZDC diferentes y posteriormente se aprobaron por inclusión como parte de la OHI S-57. Los ZDC A1, A2 y B se generan de estudios modernos y futuros, críticamente, las ZDC A1 y A2 requieren de una exploración completa del área. Los ZDC C y D ofrecen baja exactitud y datos de calidad pobre, mientras que el ZDC U representa los datos no evaluados a la hora de la publicación. Los ZDC están diseñados para ser representados en las cartas de papel, como diagrama marginal que suplante al diagrama de confiabilidad actual, y en visualizaciones electrónicas.

Se debe hacer énfasis que los ZDC son un estándar de cartografiado y no tienen la intención de ser usados como estándares de especificación para levantamientos hidrográficos o para la administración de la calidad de los datos. La exactitud de la posición y de la profundidad especificada por cada ZDC se refiere a los errores representados del sondeo e incluyen no sólo los errores del levantamiento sino también cualquier otro error introducido en el proceso de producción de la carta. Los párrafos siguientes resumen las especificaciones de los ZDC individualmente:

2.7.2.1 ZDC A1 – La posición y profundidad de los datos recogidos de acuerdo a los procedimientos y exactitudes especificados. Los levantamientos hechos utilizan una tecnología reconocida con una revisión total del área, con el propósito de asegurarse de que todos los factores importantes sean detectados y las profundidades sean medidas. Típicamente, el levantamiento debió haberse hecho con un WGS 84, usando DGPS o por lo menos con tres líneas de posición con un multi haz, canal o sistema de barrido mecánico. Debido a la intensidad en la recolección de los datos y el tiempo considerable requerido para cumplir con este estándar se puede esperar que los datos con un ZDC A1 tengan la tendencia a indicar canales críticos, zonas de atraque, áreas con una quilla mínima, canales de navegación, rumbos recomendados, puertos y cercanías de puertos.

2.7.2.2 ZDC A2 - La posición y profundidad de los datos recogidos de acuerdo a los procedimientos y exactitudes especificados. Los levantamientos hechos utilizando tecnología reconocida con una revisión total del área, con el propósito de asegurarse de que todos los factores importantes sean detectados y las profundidades medidas. Típicamente, el levantamiento debió haberse hecho con un ecosonda moderno con sonar o barrido mecánico. Aunque la exactitud en la posición y la profundidad no son tan altas como con el ZDC A1, la cobertura del fondo marino es tal que el marino puede tener una confianza casi total de la calidad de los datos obtenidos.

2.7.2.3 ZDC B - La posición y profundidad de los datos recogidos de acuerdo a los procedimientos y exactitudes especificados. Sin embargo, no se ha logrado una revisión total del área. Y, aunque no se espere, pueden existir características no especificadas, peligros en la superficie de la navegación. Este ZDC indica al marino un nivel razonable de confianza en la calidad de los datos. El ZDC B tiene la misma exactitud de posición y profundidad de los del ZDC A2 y se aplican para (Ej.) levantamientos modernos que no han logrado una revisión total de fondo marino ni tiene factores detectados. El marino prudente necesitaría más distancia bajo la quilla con este ZDC que con el ZDC A1 o A2.

2.7.2.4 ZDC C – La exactitud de la posición y la profundidad es menor a la que se logra con el ZDC B como ya se describió anteriormente. Los datos de profundidad pueden originarse por otras vías que por un levantamiento sistemático y controlado (ej. Sondeo de paso). No se ha logrado una revisión total del área y se pueden esperar anomalías en la profundidad. El ZDC C indica que el marino debe navegar con especial cuidado y debe tomar, con la debida atención a la profundidad del agua en donde esté navegando, mayores márgenes de seguridad que los que informa la carta.

2.7.2.5 ZDC D – Los datos de la posición y la profundidad es de muy baja calidad y no se puede evaluar debido a la falta de información de soporte. No se ha logrado una revisión total del área y se pueden esperar grandes anomalías en la profundidad.

2.7.2.6 ZDC U – La calidad de los datos batimétricos debe ser evaluada.

TABLA 1.2
Categoría de las Zonas de Confianza en los datos – tabla ZDC

1	2	3		4	5
ZDC [1]	**Exactitud de posición [2]**	**Exactitud de Profundidad [3]**		**Fondo marino [4]**	**Características de un levantamiento típico[5]**
A1	± 5 m.	= 0.50 + 1% d		Se ha iniciado la revisión total del área. Se han medido todas las profundidades de todos los factores[4] detectados del fondo marino.	Levantamiento[6] controlado y sistematico con gran exactitud de posición y profundidad. Lograda a través del uso de un DGPS o un mínimo de tres líneas de posición de calidad alta (LOP) y un equipo multi haz, o de barrido de canal o mecánico.
		Profundidad (m.)	Exactitud (m.)		
		10	± 0.6		
		30	± 0.8		
		100	± 1. 5		
		1000	± 10.5		
ZDC [1]	**Exactitud de posición [2]**	**Exactitud de Profundidad [3]**		**Fondo marino [4]**	**Características de un levantamiento Típico[5]**
A2	± 20 m.	= 100 + 2% d		Se ha iniciado la revisión total del área. Se han medido todas las profundidades de todos los factores[4] detectados del fondo marino.	Levantamiento[6] sistemático controlado, la exactitud de posición y profundidad es menor a la lograda con el ZDC A1, y se usa un ecosonda[7] moderno y un sistema sonar o de barrido mecánico.
		Profundidad (m.)	Exactitud (m.)		
		10	± 1. 2		
		30	± 1. 6		
		100	± 3. 0		
		1000	± 21.0		
B	± 50 m.	= 1. 00 + 2% d		No se completó la revisión total del área; Aunque no se espera, pueden existir factores no reflejados en las cartas, o peligros para la superficie de la navegación.	Levantamiento[6] controlado, sistemático que logra profundidad similar pero menor exactitud de posición que con el ZDC A2. Usa un eco-sonda[7] moderno pero no un sistema de sonar o de barrido mecánico.
		Profundidad (m.)	Exactitud (m.)		
		10	± 1. 2		
		30	± 1. 6		
		100	± 3 0		
		1000	± 21.0		
C	± 500 m.	= 2. 00 + 5% d		NO SE HA TERMINADO LA REVISIÓN TOTAL DEL ÁREA; se esperan anomalías en la profundidad.	Levantamiento de exactitud baja o recolección de datos basado en la oportunidad como con el sondeo de paso.
		Profundidad (m.)	Exactitud (m.)		
		10	± 2. 5		
		30	± 3. 5		
		100	± 7. 0		
		1000	± 52.0		
D	Peor que el ZDC C	Peor que el ZDC C			Baja calidad o datos que no pueden ser analizados debido a la falta de información.
U		Sin analizar			

Notas:

Para decidir la categoría del ZDC, todas las condiciones en las columnas 2 a 4 de la tabla deben cumplirse. A continuación se presenta la nota explicatoria de los números acotados en la tabla:

1. *La asignación de un ZDC indica que los datos cumplen con el criterio mínimo para la exactitud de profundidad y de posición y la cobertura del fondo marino definido en la tabla. Las categorías ZDC reflejan un estándar de cartografiado, no sólo un estándar de levantamiento hidrográfico. La exactitud de la profundidad y de posición especificada para cada categoría de ZDC se refiere a los errores del sondeo final representado e incluye no sólo los errores de levantamiento hidrográfico sino que también incluye otros errores del proceso de producción de la carta. Los datos se pueden clasificar por Clase de Objeto "Calidad de los Datos" los sub- atributos (M_QUAL)son los siguientes:*

   - *La Exactitud Posicional (POSACC) y la Exactitud de Sondeo (SOUACC) pueden ser utilizados para indicar que se ha logrado una posición o profundidad más alta y exacta que la que se indica en la tabla (ej. un levantamiento donde no se cubrió el fondo marino en su totalidad no puede ser clasificado como más alto que ZDC B; sin embargo, si la exactitud de la posición fue, por ejemplo ± 15 metros, el sub-atributo PROSACC puede ser utilizado para indicarlo así).*

   - *Las áreas de barrido donde la claridad de profundidad se conoce en forma precisa pero la profundidad real del fondo marino no se conoce exactamente puede ser acordada como un ZDC "más alto" (ej. A1 o A2) que suministran la exactitud de posición y profundidad de la claridad de profundidad que cumple con los criterios de esta Tabla. En esta instancia, se puede usar el Valor de Rango de Profundidad 1 para especificar el barrido de profundidad. El criterio de exactitud de la posición se aplica a los límites de las áreas barridas.*

   - *Se pueden utilizar SURSTA, SUREND y TECSOU para indicar la fecha de inicio y término del levantamiento y la técnica de medición del sondeo utilizado.*

2. *El criterio de exactitud de la posición es 95% ci (2 45 sigma) con respecto al dado por el datum. El error acumulado incluye los errores del levantamiento, de transformación y de digitalización etc. La exactitud de la posición no necesita ser computarizada rigurosamente para los ZDC B, C y D pero debe ser estimada en base al tipo de equipo, régimen de calibración, exactitud histórica etc.*

3. *La exactitud de la profundidad de sondeos representados por (ej) ZDC A1 = 0.50 metros + 1% d en 95% CI (200 sigma) donde d= a la profundidad en metros en la profundidad crítica. La exactitud de profundidad no necesita ser computarizada rigurosamente para los ZDC B, C y D pero debe ser estimada en base al tipo de equipo, régimen de calibración, exactitud histórica etc.*

4. *Las características significativas del fondo marino están definidas como aquellas que se levantan sobre las profundidades representadas por más de:*

   Nota: Los marinos deben tomar en cuenta las limitaciones del equipo de sondeo cuando estén evaluando los márgenes de seguridad que se van a aplicar

Profundidad	***Factor Significativo***
< 10 metros	*> 0.1 x profundidad*
10 a 30 metros	*> 1. 0 metro*
30 metros	*> (0.1 x profundidad menos 2. 0 metros)*

5. *Características de un levantamiento típico – Estas descripciones deben ser tomadas únicamente como ejemplos representativos.*

6. *Levantamientos sistemáticos, controlados (ZDC A1, A2 y B)- estudios que comprenden líneas de levantamientos planificados, en un datum geodésico que puede ser transformado a WGS 84*

7. *Levantamiento de ecosonda moderna – Un equipo para medir la profundidad de alta precisión y haz sencillo, generalmente incluido en todos los levantamientos de ecosondas designados después de 1970*

2.8 Producción de los datos

Los datos finales producidos pueden ser digitales o análogos. Un diagrama esquemático se muestra a continuación:

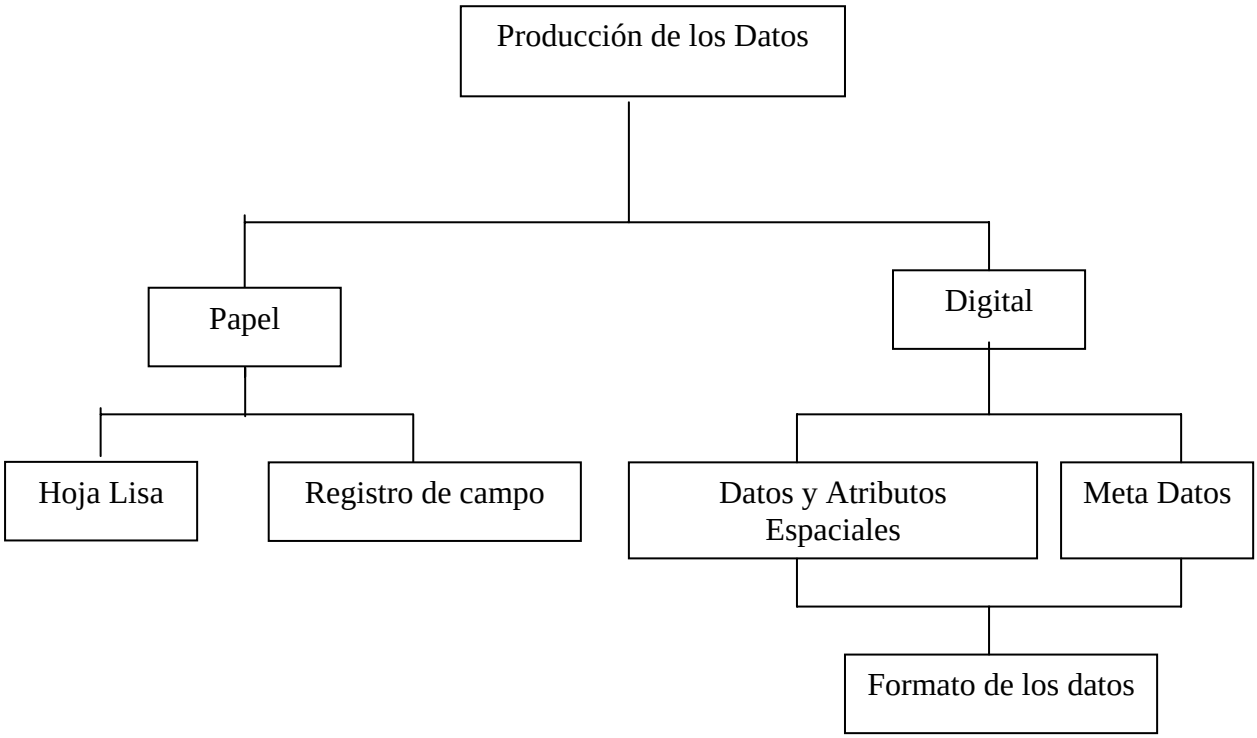


Fig. 1.2 "Diagrama sistemático de la producción digital"

Los datos digitales deben estar en un formato definido para que se puedan importar directamente a la base de datos. Como se sabe un levantamiento típicamente incluye numerosos documentos de apoyo y archivos digitales, estos deben estar claramente identificados de una forma descriptiva e intuitiva para que el personal hidrográfico los pueda identificar. Idealmente, se recomienda el procedimiento operativo estandarizado acordado por la OHI y las unidades de campo que cubren estos documentos y los datos en archivos digitales. Los datos **manuales** deben ser claros, concretos y legibles de una manera que sea apropiada[13].

[13] http://www.hydro.navy.gov.au/news/htf/htf.pdf.

Después que los datos sean recopilados, procesados y ploteados en las hojas de trabajo (manuscritos en forma digital), el inventario de las versiones finales debe ser enviado a la Oficina Hidrográfica, generalmente, el inventario debe incluir [14]:

- Hojas de trabajo
- Archivos digitales de las hojas detrabajo con sus atributos
- Datos brutos y datos batimétricos procesados
- Archivos de velocidad de la marea, el sonido y la configuración de la embarcación.
- Archivos de datos de exploración lateral
- Reportes descriptivos y suplementales
- Registro de campo y documentación del proceso
- Documentación de la calibración

2.9 Sistema de Información Náutico (SIN)

El sistema de información náutico es una combinación de personas entrenadas, datos espaciales y descriptivos, métodos analíticos y sistemas de hardware y software – todos organizados para automatizar, manejar y entregar información a través de una presentación ej. Cartas de papel y digitales. Anteriormente, el uso principal de la base de datos de cartografiado náutico era sólo para producir cartas náuticas. Los avances de la tecnología de la navegación han fijado nuevos límites en la exactitud, confiabilidad y el formato de las cartas náuticas. La exactitud de posicionamiento de la carta debe cumplir la elevada exactitud de los sistemas de posicionamiento. Para sacar el máximo provecho de la dinámica de los métodos modernos de posicionamiento, se ha comenzado a solicitar cartas digitales paralelamente con las cartas en papel. La OHI ha desarrollado un estándar internacional para los datos hidrográficos digitales. La versión válida del estándar, S-57 edición 3. 1 se adoptó como el estándar oficial de la OHI en noviembre de 2000 y también se especifica en los Estándares de Desempeño para la Presentación de Cartas Electronicas y Sistemas de Información (ECDIS) de la Organización Maritima Internacional (OMI). La S-57 describe el estándar que se debe usar en el intercambio de datos hidrográficos digitales entre las Oficinas Hidrográficas nacionales y para la distribución de la datos digitales y de los productos para los fabricantes, marinos, y otros usuarios de los datos. El producto digital más importante que se ha desarrollado en el formato S-57 es la Carta Electrónica de Navegación (ENC). La rápida y creciente demanda de cartas electrónicas de navegación (ENC) ha llevado a muchas oficinas hidrográficas a una situación donde hay dos líneas de producción diferentes para dos productos, células ENC y cartas de papel. Es escencial para la seguridad de la navegación que los productos no entren en conflicto. El típico SIN tiene cuatro subsistemas funcionales[15] (Fig. 1. 3).

- **Alimentación de los Datos.** El subsistema de alimentación de los datos permite al usuario capturar, coleccionar y transformar los datos espaciales y temáticos en datos digitales. La alimentación de los datos normalmente se obtiene de la combinación de dos mapas crudos, fotografías aereas, imágenes de sensores remotos, documentos de levantamientos, etc.

- **Base de Datos – Almacenamiento y Recuperación.** El subsistema de almacenamiento y la recuperación de los datos organiza los datos, espaciales y de atributos, de una forma que permite que se recuperen rápidamente para el análisis, y permite actualizaciones rápidas y exactas en la base de datos.

[14] Lieutenant Eric J. Sipos and Physical Scientist Castle Parker, "NOAA AHB Quality Assurance Inspections for Contract Hydrographic Surveys", NOAA Hydrographic Survey Division, USA

[15] Dan Sherrill and Asa Carlsson, "The JANUS Solution for Hydrographic Information", T-Kartor AB Sweden- Box 5097 - S-291 05 Kristianstad – Sweden, ds@t-kartor.se & ac@t-kartor.se

- **Base de Datos – Manipulación y Análisis.** El subsistema de manipulación y análisis de los datos permite al usuario definir y ejecutar los procedimientos espaciales y de atributos para generar la información derivada. Este subsistema se conoce como el corazón de un GIS, y usualmente lo distingue de otro sistema de base de datos de información y de otro sistema de bosquejos por computación (CAD).

- **Generación de Datos.** El sistema de generación de los datos permite al usuario generar muestras gráficas, mapas normales y reportes tabulares representando los productos de información derivados.

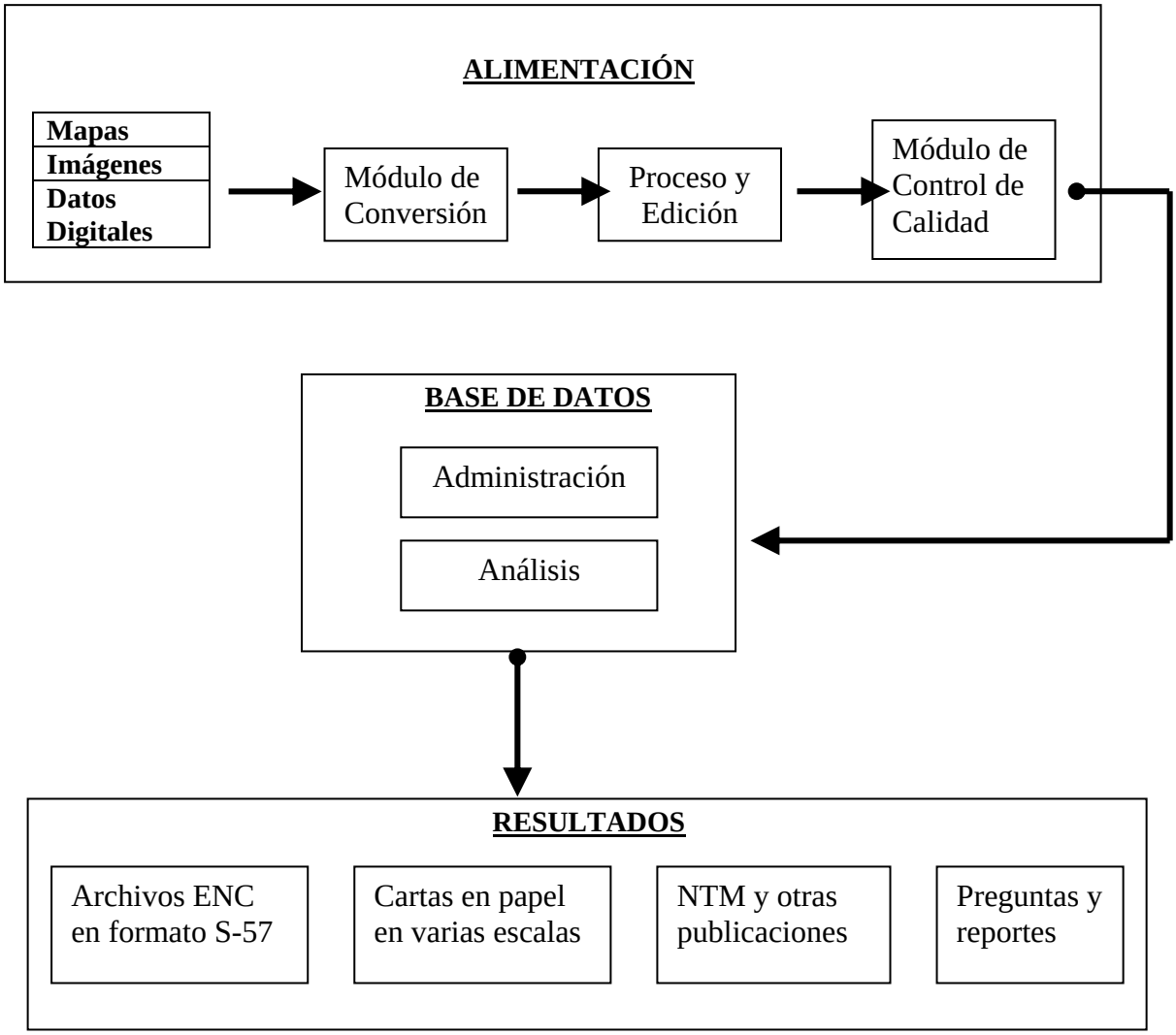


Fig. 1.3 " Subsistemas Funcionales de SIN"

Hay cuatro componentes en un SIN; los datos, el hardware, el software y los usuarios[16]. Como se muestra en la Fig. 1. 4, los componentes deben estar integrados; deben unirse y trabajar en conjunto para apoyar la administración y el análisis de los datos espaciales o de los mapas.

[16] Lloyd P. Queen and Charles R. Blinn, "The Basics of geographic Information Systems", **lqueen@mercurry.forestry.umn.edu and cblinnlqueen@mercurry.forestry.umn.edu**

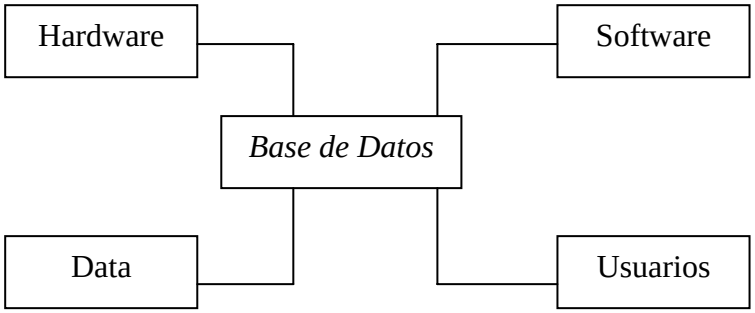


Fig. 1.4 "Componentes SIN"

- **Datos.** Todos la información de la base de datos es espacial o de atributos. Los datos espaciales nos dicen donde están pasando las cosas. Los datos de atributos nos dicen qué es lo que ocurre; Nos dice la naturaleza o las características de los datos espaciales.

- **Hardware.** El sistema de computación debe ser capaz de apoyar la alimentación, extracción, archivo, recuperación muestra y análisis de los datos.

- **Software.** El software utilizado debe ser dinámico y debe tener una amplia variedad de capacidades funcionales.

- **Usuarios.** El término "Usuario" se puede referir a cualquier individuo que utilice el SIN para apoyar un proyecto o las metas de un programa o de una organización que lo emplee.

2.9.1 Proceso de recopilación

La recopilación de los datos incluye el ensamblaje de toda los datos espaciales y de atributos en el SIN. El mapa de datos con proyecciones comunes, escalas y sistemas de coordenadas debe ser agrupado para establecer la base de datos SIN centralizada. Los datos deben también ser examinados para su compatibilidad en términos de contenido y tiempo de recolección de los datos. Al final, los datos se guardarán en el SIN de acuerdo a los requisitos específicos del formato que seleccionó el usuario y el ambiente de SIN software / hardware.

Cuando todos los requisitos comunes de los datos han sido definidos por el usuario, se ha establecido un "mapa base". Un mapa base se forma de los requerimientos estándares para los datos. Nos da los estándares exactos para el control geográfico y también define un modelo o patrón que se utiliza para darle forma a todos los datos de una forma compatible. Un mapa base no necesariamente es un mapa, sino un grupo comprensible de estándares establecidos y formados para asegurar el control de calidad de los datos espaciales y de atributos contenidos en el SIN.

Una vez se recopilen los datos y se hayan definido los parámetros del mapa base, el usuario debe trasladar los datos manuscritos a una forma compatible al computador. Este proceso conocido como "conversión" o "digitalización" convierte a los mapas de papel en dígitos numéricos que pueden ser guardados en una computadora. La digitalización se puede realizar utilizando varias técnicas. El escaneo es una técnica. Otra técnica es la digitalización de líneas la cual utiliza una tabla y un lápiz de trazado. La digitalización simplifica los datos del mapa en grupos de puntos, líneas o celdas que pueden ser grabados en la computadora SIN. Cada paquete de software SIN impondrá una forma y diseño específico en el momento en que esos puntos, líneas y celdas van a ser grabados como archivos de mapas digitales.

La siguiente figura muestra los diferentes tipos de procesos de recopilación.

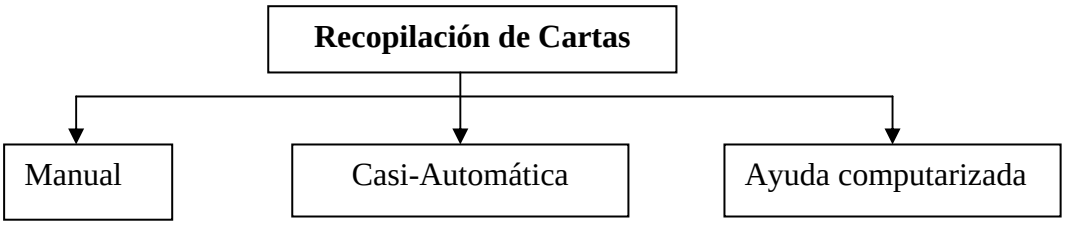


Fig. 1. 5 "Procesos de Recopilación de Cartas"

2. 9.1.1 Manual: El trabajo cartográfico tradicional está basado en la separación de color y en procesos manuales. El croquis es un método manual de preparar la línea de trabajo, símbolos y topología (nombres) de acuerdo a las especificaciones de la carta. Se logra un trabajo lineal de alta calidad a través de un proceso que se llama "scribing" (quemado de plancha) donde la imagen se grava en una película de carbón asegurándose que las especificaciones cartográficas se le queden adheridas. Cada color utilizado en un mapa es quemado en una placa de color y los símbolos y nombres se combinan foto-mecánicamente para producir los colores en la impresión. La cartografía tradicional, definida como las técnicas manuales usadas para la producción de las cartas de papel (antes de la introducción de las computadoras), puede contener seis componentes[17].

- Trabajo de Recopilación. La selección de la información recolectada para la producción de la nueva edición de la carta en papel.

- Generación de Imágenes. El proceso de asignar el tipo de símbolo, forma y estructuras a las características de un mapa.

- Registro de imágenes. Es la técnica para asegurar que los componentes de cada color individual se compaginan en el mapa.

- Copiado al contacto a escala. La operación usada para producir líneas del mismo tamaño, y positivos y negativos de tonos continuos y medios por un proceso de contacto directo.

- Combinación / separación de la imagen (colores). Las técnicas usadas para producir mapas multicolores por medio de la impresión secuencial de un número de componentes de color por separado.

- Impresión. Las cartas se imprimen utilizando el proceso de impresión offset.

Casi-Automático: La cartografía casi-automática es la combinación de las técnicas manuales o de computación usadas para la producción de una carta de papel. Aunque, cumple con los pasos del sistema manual, algunos se hacen de forma automática ej. El contorno se hace con máquinas de croquis en vez de hacerlo con las manos.

2.9.1.2 Cartografiado por computación: Para mejorar los servicios y para cumplir con la gran demanda de cartas, se utilizan los sistemas de mapas computarizados. La introducción de los mapas computarizados y de los sistemas de información geográfica le ha agregado nuevas dimensiones a las

[17] Lt Cdr Luis Pais, "Production and Distribution of ENC – The Portuguese Experience", Potugal (IHPT), hidrografia@hidrografico.pt, www.thsoa.org/pdf/h01/7_3.pdf.

técnicas cartográficas y al uso de los datos espaciales. Los pasos cartográficos computarizados se dividen en los siguientes cinco pasos[18].

- **Adquisición y alimentación.** Los datos digitales se obtienen usualmente de varias formas ej. Los archivos digitales o a través del escaneo de cartas antiguas.

- **Verificación.** Todos los datos se verifican y se chequean los formatos, escala y codificación etc.

- **Edición y clasificación.** Las mayores tareas incluyen asegurar que las características y la topología son correctas, y que los símbolos y atributos son los que indica los Estándares Cartográficos Digitales (CDS). Los manuscritos originales que fueron escaneados requieren de la codificación geo-referencial y de la edición interactiva de la codificación de características. Todo texto o nota hecha sobre el mapa se debe incluir interactivamente.

- **Control de calidad.** Se usa un proceso de filtro para crear un documento de reporte para chequear el proyecto, éste debe estar completo y los atributos deben haber sido otorgados correctamente. Los oficiales de control de calidad se aseguran que la carta cumple con las especificaciones de diseño y que los datos digitales conforman el CDS. Todos los mapas se revisan por cartógrafos antes de su publicación.

- **Impresión.** Un archivo final se crea para la impresión. El proceso moderno de impresión *offset* puede imprimir en colores individuales o en secuencia multicolor.

2.9.2 Presentación

El mundo real es muy complicado para obtener una descripción práctica completa es por esto que se debe utilizar una visión del mundo real simplificada y muy específica. Esto se logra al moldear la realidad. La presentación de la información hidrográfica puede variar para cumplir con un uso particular (ej. Puede ser presentada gráficamente, usando símbolos o en una forma textual). Por esto, la presentación de la información debe ser independiente de su almacenaje. El concepto de mantener la información almacenada separada de la de la presentación nos da gran versatilidad y flexibilidad. Permite a los mismos datos ser usados para varios propósitos sin requerir un cambio en su estructura o contenido. Si el estilo de la presentación o medio cambia, sólo el modelo de presentación debe cambiar. Entonces, el modelo descrito puede vincularse a muchos modelos diferentes de presentación. Por ejemplo, las cartas ENC y de papel presentan los mismos datos básicos en distintas maneras a través de distintos modelos de presentación[19].

2. 9.2.1 Cartas de papel. Una carta náutica es el marco gráfico que muestra la naturaleza y la forma de la costa, las profundidades del agua y las características generales y de configuración del fondo del mar, ubicación de los peligros a la navegación, la bajamar y pleamar, ubicación de las ayudas a la navegación hechas por el hombre y las características del magnetismo de la tierra[20]. Además de sus elementos básicos, una carta es un documento de trabajo que el marino utiliza como “un mapa de camino” y como una hoja de trabajo y es esencial para la seguridad en la navegación. Junto con las ayudas a la navegación suplementarias, se usa para dibujar cursos y navegar barcos por la ruta más corta, económica y segura.

[18] Vic Dohar and Dave Everett, “Geological Map Production for Dummies”, Natural Resources Ottawa, Canada, vdohar@nrcan.gc.ca,http://pubs.usgs.gov/of/of00-325/dohar.html.

[19] Organización Hidrográfica Internacional, Mónaco, Especificaciones para Contenidos de Cartas y Aspectos de Muestra de ECDIS (S-52).

[20] http://chartmaker.ncd.noaa.gov/ncd/whatis.html.

Las cartas impresas presentan toda la información importante como las características de la carta con la simbología apropiada y la información, textos y símbolos cartográficos descriptivos. El volumen de la información es limitado dependiendo del tamaño de la carta así como de los aspectos de lectura de ésta. Uno de los aspectos más importantes del trabajo de preparación de los datos a ser publicados en la carta impresa es la generalización cartográfica y la edición cartográfica de la data. Estas incluyen ej. El desplazamiento, agrupación, selección rotación y ancho del texto, letra y posicionamiento.

2.9.2.2 Cartas digitales. Las cartas digitales dan a entender la base de datos estandarizada, por el contenido, estructura y formato, como se muestra en la Fig. 1.6.

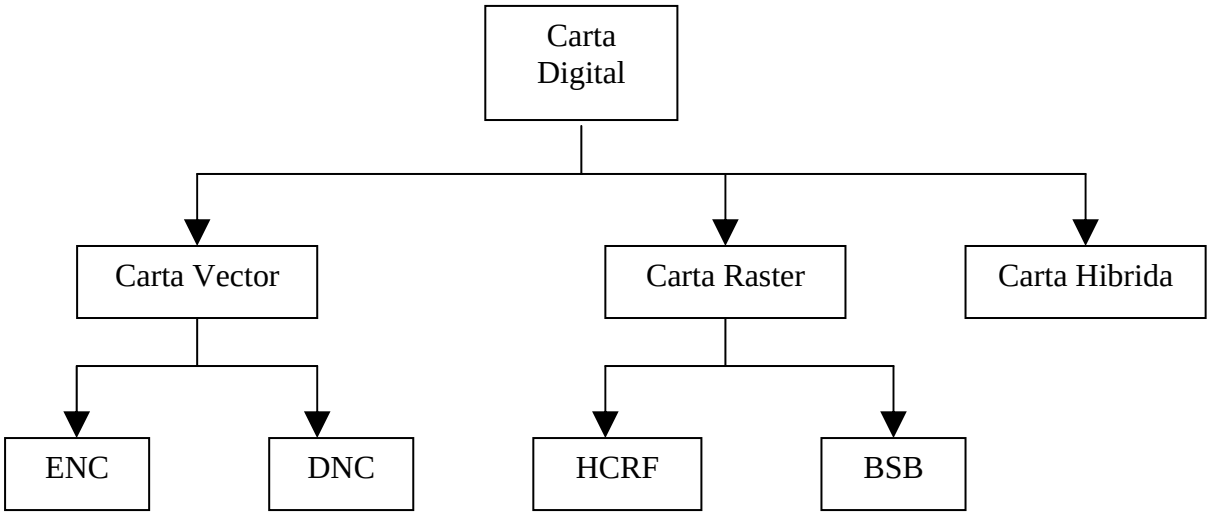


Fig. 1.6 "Tipos y formatos de cartas digitales"

Las Cartas Digitales[21] son una nueva ayuda a la navegación que puede dar grandes beneficios a la navegación marítima, seguridad y el comercio. Más allá de ser simplemente un muestrario de gráficos en un computador, los sistemas de la carta digital combinan los datos geográficos y los datos textuales en una sola herramienta de operación muy útil. Como una ayuda automática de decisión las cartas ENC son capaces de determinar continuamente la posición de una embarcación en relación con tierra firme, objetos, ayudas a la navegación y cualquier peligro no detectado, son un sistema de navegación en tiempo real que integran una variedad de información que es importante para la interpretación del marino. La forma más avanzada de sistemas de cartas náuticas la representa una novedad en la navegación marítima.

2. 9.2.3 La carta vectorial

ENC: Una Carta de Navegación Electrónica (ENC) es de datos vector de conformidad con las especificaciones de producto ENC del OHI S-57 en términos de contenido, estructura y formato. Fueron hechas para el uso con ECDIS de la autoridad de gobierno autorizada en las oficinas hidrográficas y contiene toda la información necesaria para la seguridad de la navegación y muchas tienen información adicional a la que se encuentra en la carta de papel (ej. direcciones de navegación). En general, una carta ENC S-57 es un grupo de datos orientados a un objeto y estructuralmente ordenados y está designada para una cantidad de aplicaciones hidrográficas. Tal como lo define la 3ra edición del OHI S-57, la data es un compendio de puntos, líneas características y objetos. El tamaño mínimo de la data es una "celda" que es un rectángulo esférico (ej. Rodeado de meridianos y círculos de latitud). Las celdas adyacentes no se duplican. La escala de los datos contenida en la celda es dependiente del propósito de la navegación (ej general, costero, de aproximación o de puerto), otra

[21] Lee Alexander, Ph.D., "What is an ENC? It depends who you ask", Offshore Systems Ltd., Vancouver, BC, Canada, http://www.osl.com/Support/what_is_enc.htm.

que no sea un límite de 5Mb de la cantidad de los datos contenidos en la celda ENC, no hay especificaciones en relación a las dimensiones de la celda como el contenido más pequeño.

DNC: La Carta Náutica Digital (DNC^{MR}) es una base de datos vectorial de una selección de características marítimas que pueden ser utilizadas con los sistemas de navegación integrados en la embarcación (ej. Sistemas de cartografiado electrónico), u otro tipo de sistemas de información geográfica (GIS). De igual manera que con las ENC de OHI S-57, la base de datos DNC está formada por puntos, líneas y polígonos que contienen información de hidrografía, ayudas a la navegación, marcas culturales en tierra, características de la tierra, profundidades, obstrucciones, etc. Cada tema (ej. Hidrografía) se guarda en una alineación temática con propiedades de geo-referencia. El producto DNC está encapsulado usa el Anexo C de Forma Relacional Vectorial (VRF) de codificación que consiste en un grupo de tablas de base datos relacionales. Luego los datos se organizan en series de "bibliotecas" que no son más que grupos de cobertura de carta que se comparan con los grupos de escalas de cartas náuticas de papel NIMA (ej. General, Costero, de Aproximación y de Puerto). En el concepto ECDIS un DNC es un "sistema" electrónico de carta de navegación (SENC) que contiene datos y características de muestrario específicos.

2.9.2.4 Cartas Raster

Los formatos de datos Raster son una imagen electrónica con una geo-referencia aplicada a ellos. El término de imagen electrónica se usa para una imagen de computadora hecha para una grilla de cuadros o *píxeles* de color muy pequeños (254 por pulgada en una estándar) Estas imágenes electrónicas se generan normalmente de escanear la carta original para crear la representación digital de la carta. Una vez que se obtiene esta imagen, se le aplica la geo-referencia. Este es el proceso de relacionar las posiciones de la grilla de los *píxeles* de la imagen electrónica con la latitud y longitud correspondiente. De esta forma, una computadora puede relacionar la posición del *píxeles* con la latitud o la longitud. Sin embargo, el sistema desconoce los detalles de las características y de los detalles que muestra (como la línea de costa) de la imagen raster que emite. Las cartas raster se producen al escanear en alta resolución los colores originales por separado, que son usados para imprimir las cartas de papel. Los archivos digitales son geo-referenciados cuidadosamente para permitir al software de navegación indicar las posiciones geográficas o locaciones en la imagen. Los Meta datos se agregan para describir la carta, su datum, proyección y otra información acerca de la carta y del archivo digital.

Formato hidrográfico de cartas Raster (HCRF): este es le formato que desarrolló la Oficina de Hidrografía del Reino Unido (UKHO) y que utiliza el Servicio del Almirantazgo de Cartas Raster (ARCS) y la OH de Australia para su Servicio de Cartas del Marino. Las cartas Raster tienen los mismos estándares de exactitud y de confiabilidad que las cartas de papel. Estas se utilizan con sistemas autorizados y compatibles de Cartografiado electrónico (ECS)

Formato BSB: El formato (BSB) es básicamente una o más imágenes raster comprimidas en un paquete que está acompañado por los detalles de la carta dentro del mismo paquete. Los detalles de estas cartas incluyen las geo-referencias requeridas para determinar la latitud y la longitud así como otros particulares como la escala, las unidades de profundidad, el nombre de la carta, etc. El formato BSB separa la carta en dos imágenes dependiendo del número de compartimientos que la carta tenga, "un compartimiento" se define como la carta principal, la carta inserta y la continuación de la carta.

2.9.2.5 Cartas híbridas

La forma ideal de mantener todas las versiones originales de los datos digitales cartográficos de manera discreta es en el formato vectorial. La capacidad de los sistemas de computación, que ha crecido en los últimos años, ha abierto la posibilidad de transferir rápidamente a forma digital a través del escaneado raster de los impresos apartados existentes, y luego, utilizando las técnicas híbridas raster/vectorial durante un período de cambio. Los originales Raster se cambian por los originales Vectoriales en una secuencia determinada por las prioridades de costo y de negocios.

ANEXO A

ACRÓNIMOS

ARCS	Servicio del Almirantazgo de Cartas Raster
AHO	Oficina Hidrográfica de Australia
CAD	Croquis de Ayudado por Computadoras
CD	Disco Compacto
CDS	Estándares de Cartografiado Digital
DNC	Carta Náutica Digital
ECS	Sistema de Cartografiado Electrónico
ENC	Carta de Navegación Electrónica
ECDIS	Sistema de Despliegue de Carta Electrónica e Información
GIS	Sistema de Información Geográfica
HCRF	Formato de Cartas Hidrográficas Raster
HTF	Formato de Transferencia Hidrográfica
HI	Instrucción de proyecto / Instrucción Hidrográfica
NIMA	Agencia Nacional de Cartografía e Imagen (Hoy NGI)
NIS	Sistema de Información Náutica
NTM	Avisos a los Navegantes
OHI	Organización Hidrográfica Internacional
OMI	Organización Marítima Internacional
ONH	Oficina Nacional Hidrográfica
QC	Control de Calidad
RNC	Carta Náutica Raster
SENC	Sistema de Cartas de Navegación Electrónicas
UKHO	Oficina Hidrográfica del Reino Unido
VRF	Formato Vectorial Relacional
WGS	Sistema Geodésico Mundial

REFERENCIAS

D. Russom & H. R. W. Halliwell	*"Some Basic Principles in the Compilation of Nautical Charts"*	International Hydrographic Review, Vol. LV No. 2, July 1978
William G. Swisher	*"National Ocean Survey Automated Information System"*	International Hydrographic Review, Vol. LVIII No. 2, July 1981
N. M. Anderson	*"Computer Assisted Cartography in the Canadian Hydrographic Service"*	International Hydrographic Review, Vol. LVIII No. 2, July 1981
Christer Palm	*"From Manuscript to Printed Chart"*	International Hydrographic Review, Vol. LX No. 2, July 1982
Martin Joseph	*"Assessing the Precision of Depth Data"*	International Hydrographic Review, Vol. LXVIII No. 2, July 1991
E. C. Bouwmeester and A. W. Heemink	*"Optimal Line Spacing in Hydrographic Survey"*	International Hydrographic Review, Vol. LXX No. 1, March 1993
H. Gorziglia	*"Computer Assisted Cartography at Hydrographic and Oceanographic Service of Chilean Navy"*	International Hydrographic Review, Vol. LXX N°, September 1993
Adam J. Kerr	*"Conceptual Model of a Regionally Integrated Data Base For ECDIS"*	International Hydrographic Review, Vol. LXXI No. 2, September 1994
Udo Laube	*"The Hydrographic and Wrecksearch Vessel "DENEB" as an Example for a Modern Survey Vessel"*	International Hydrographic Review, Vol. LXXII No. 2, March 1995
B. Bourgeois, F. Petry, M. Harris & P. Alleman	*"A GIS Integration Approach for Dynamically Reconfigurable Surveys"*	The Hydrographic Journal, January 1999.
Patrick McGlamery	*"Issues of Authenticity of Spatial Data"*	66th IFLA Council and General Conference 2000.
Neal G. Millet and Simon Evans	*"Hydrographic Management using GIS Technologies"*	U.S. Hydrographic Conference 2001.
Lieutenant Eric J. Sipos	*"NOAA AHB Assurance Inspections for Contract Hydrographic Surveys"*	U.S. Hydrographic Conference 2001.
Lt Cdr Luis Pais	*"Production and Distribution of ENC – The Portuguese experience"*	U.S. Hydrographic Conference 2001.

DIRECCIONES URL

1. Ames Remote	http://www.amesremote.com
2. Caris Marine	http://www.caris.com
3. Coastal Oceanographic, Inc	http://www.coastalo.comNational
4. ESRI Software	http://www.esri.com/library/
5. Federal Geographic Data Committee	http://fgdc.er.usgs.gov/fgdc.html
6. Hydrographic Society of America	http://www.thsoa.org
7. Imagery and Mapping Agency (NIMA)	http://www.nima.mil
8. International Hydrographic Organisation	http://www.iho.shom.fr/iho.html
9. JANUS Technologies	http://www.janus-tech.com
10. NOAA National Coast Survey	http://chartmaker.ncd.noaa.gov
11. Offshore Systems Ltd.	http://www.osl.com/corporate
12. Primar Organisation	http://www.primar.org
12. SeaBeam Instruments	http://www.seabeam.com/
13. Reson, Inc	http://www.reson.com
14. The Laser-scan Ltd.,	http://www.Laser-Scan.com/papers
15. The GIS Primer	http://www.innovativesgis.com

BIBLIOGRAFÍA

Admiralty	*"Manual of Hydrography"*	Vol I & Vol II
Bowditch	*"American Practical Navigator"*	U.S. Navy Hydrographic Office.
Admiralty	*"General Instructions for Hydrographic Surveyors"*	
Karl B. Jeffers	*"Hydrographic Manual"*	U.S. Department of Commerce
IHO Special Publication S-44	*"IHO Standards for Hydrographic Surveys"*	
IHO Special Publication S-52	*"Spécifications for Chart Content and Display Aspects of ECDIS"*	
IHO Special Publication S-57	*"IHO Transfer Standards for Digital Hydrographic Data"*	
IHO Special Publication S-61	*"Product Specification for Raster Navigational Charts (RNC)"*	
IHO Circular Letter 45/2001	*"Guidelines for the Processing of High Volume Bathymetric Data"*	Dated 5 Oct 2001.
	"Map Compilation Color Separation and revision"	Headquarters Department of Army, Washington.
Colonnel Sir Charles Close & Colonel H. St. J. L. Winterbotham	*"Text Book of Topographical and Geographical Surveying"*	Her Majesty's Stationery Office.

CAPÍTULO 2
POSICIONAMIENTO

1. INTRODUCCIÓN

La determinación de la posición con confiabilidad relativa es el problema fundamental que enfrenta el marco de referencia del Sistema de Información Geográfico (GIS) y el principal propósito de la ciencia geodésica.

La determinación de la posición para puntos de la superficie terrestre requiere el establecimiento de las coordenadas apropiadas en el sistema de referencia geodésica seleccionado (DATUM).

La salida mínima de información, cuando la herramienta de "coordenada" es seleccionada por el usuario, debe ser:

- Los parámetros que describan totalmente el sistema de referencia.
- Los detalles de coordenada requeridos el símbolo o punto cartográfico seleccionado.

De esta manera es posible definir sin ambigüedades las coordenadas de un punto u objeto con referencia all mundo real.

2. PRINCIPIOS DE POSICIONAMIENTO

2.1 La Tierra

El cálculo del posicionamiento con exactitud repetible es el problema central para la referencia geográfica de la información terrestre y la función principal de la geodesia.

La posición geográfica de un punto en la superficie terrestre puede ser definido en relación con la superficie de referencia matemática definida que es usada en lugar de la superficie verdadera de la tierra (muy parecido a una elipsoide de rotación o de dos ejes).

Las superficies de referencia deben tener dos características fundamentales:

- Estar definidas matemáticamente.
- Aproximarse a la superficie verdadera en la ubicación deseada.

Las superficies de referencia utilizadas con bastante frecuencia para áreas limitadas son:

- El elipsoide de rotación (o de dos ejes).
- El esferoide local.
- El plano horizontal (o plano tangente).
- El geoide.

Las tres primeras tienen una definición puramente matemática y se utilizan para el posicionamiento horizontal; la cuarta superficie tiene una definición física y tiene relación con las otras por su valor de altura/separación. Una posición tridimensional es definida con dos coordenadas horizontales y una componente vertical que es la altura sobre la superficie de referencia.

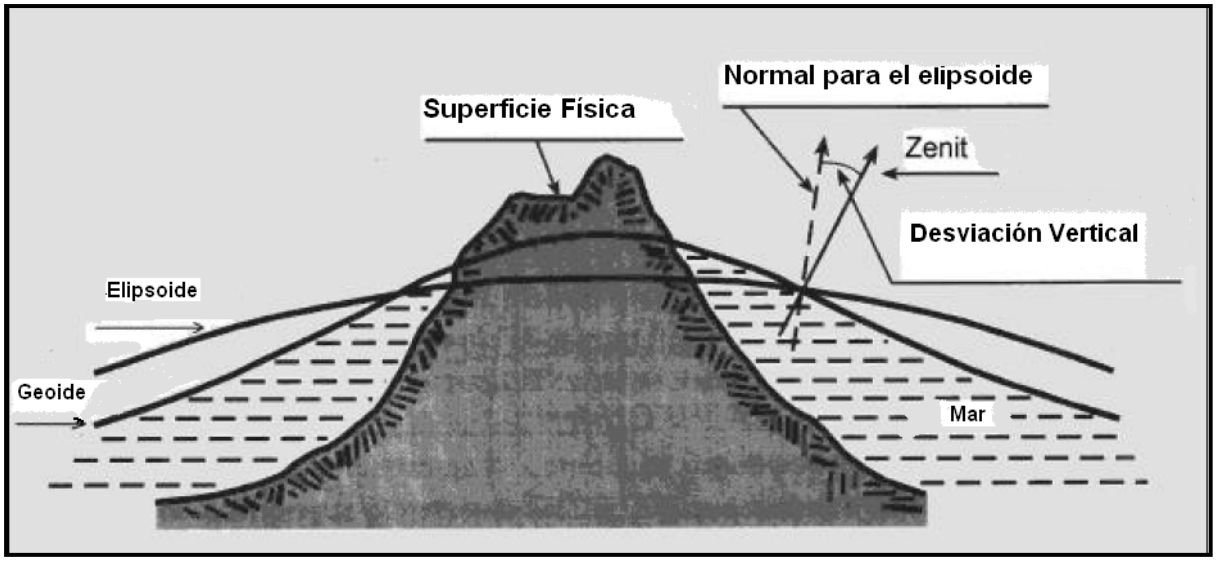


Fig. 2.1 "La Tierra"

2.1.1 El Elipsoide

El elipsoide es una superficie de cuarto orden en la que todas las curvas de intersección con un plano son elipses, las cuales eventualmente degeneran en círculos. Para cada punto seleccionado en la superficie del elipsoide y para la normal al plano tangente en este punto, las elipses producidas por la intersección con dicha superficie y la normal forman planos continuos infinitos, los cuales se conocen como secciones normales y tienen, en ese punto, una cantidad de variaciones en los radios de curvatura. Esta variación es una función continua de la latitud elipsoidal del punto seleccionado, de los parámetros de forma elipsoidal y del acimut de la sección normal producida. Las dos secciones normales, que corresponden a las curvas de radios mínima y máxima, se definen como las secciones principales normales.

Para propósitos geodésicos el elipsoide de revolución, que se produce cuando una elipse es rotada sobre su eje semi-menor, provee una superficie matemática bien definida cuya forma y tamaño son definidas por dos parámetros: medida del *semieje menor* ***(b)*** *y semieje mayor* ***(a),*** la forma de un elipsoide de referencia también puede ser descrita por su *aplanamiento:* $f = [(a - b) / a]$ o su *excentricidad :* $e = [(a^2 - b^2)^{1/2} / a]$.

La Figura 2.1 muestra la relación general entre geoide, elipsoide y la forma física de la tierra. La Figura 2.2 muestra la estructura y parámetros del elipsoide.

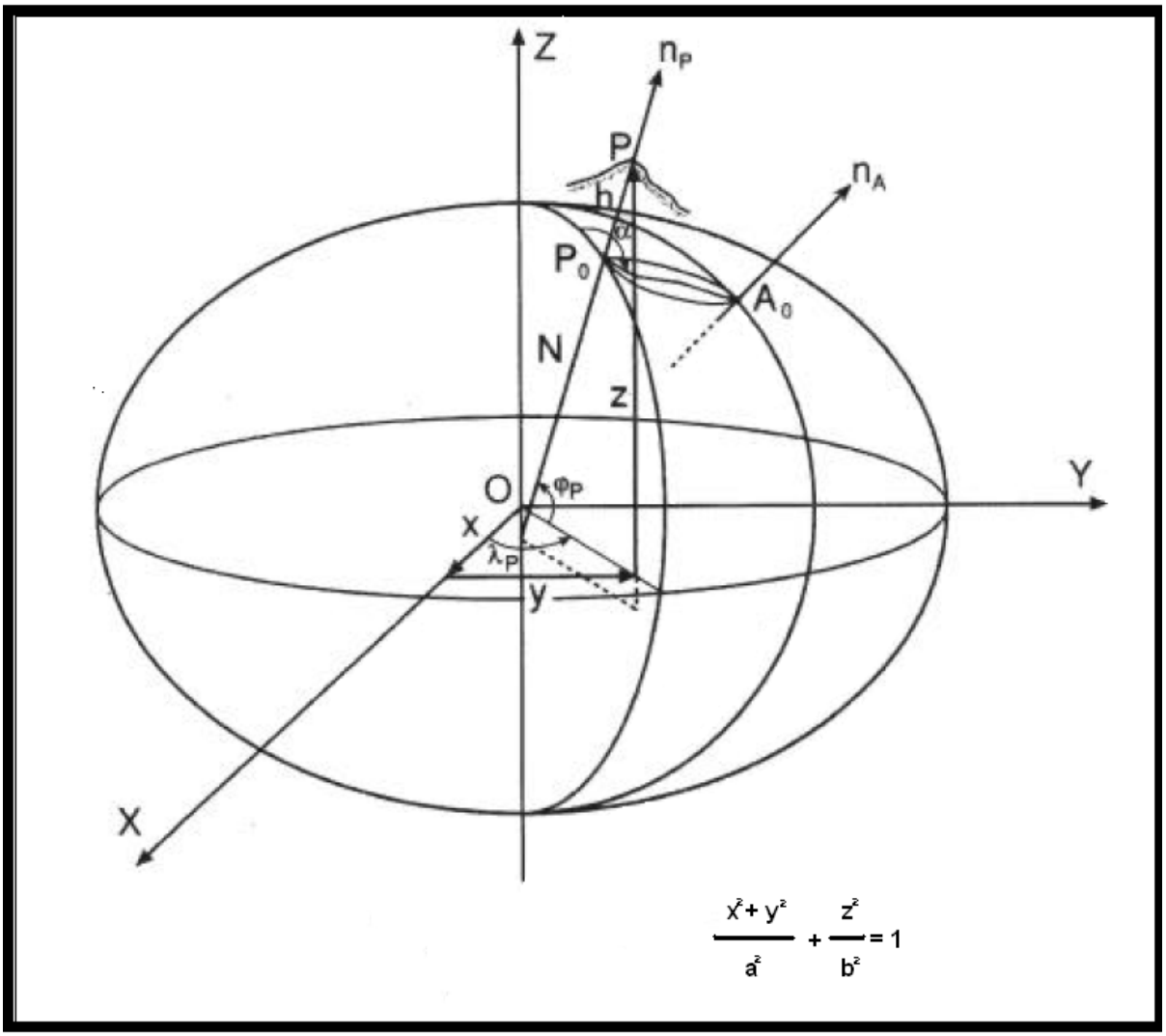


Fig. 2.2 "El Elipsoide"

La superficie del elipsoide es regular y derivada matemáticamente; es por estas razones que, como superficie de referencia, se utiliza para sistemas de coordenadas horizontal. Sin embargo es de uso limitado como referencia para la altura, ya que es una aproximación grosera de la forma de la tierra para ese fin.

2.1.2 La esfera local

Una esfera local es la superficie de referencia que, en una latitud seleccionada, tiene un radio igual a la media geométrica entre los radios de las dos secciones normales principales del elipsoide siendo remplazadas en el punto de interés en la superficie.

Se acepta la sustitución en un radio de aproximadamente 100 Km. (en el campo Geodésico) desde el punto de la tangente entre la esfera y el elipsoide, esto incluye cambios en distancia y de ángulos menores que sensibilidad de las mejores herramientas usadas en levantamiento. (Distancias: 1cm +/- 1ppm; ángulos: 0.1").

En un radio de 8 Km.. (en el campo topográfico) desde el mismo punto, se acepta el reemplazo de la esfera con un plano tangente, causando un cambio en comparación con la superficie elipsoidal menor que las indicadas en las exactitudes anteriormente mencionadas.

2.1.3 El geoide

El geoide, definido como la superficie equipotencial del campo de fuerza de gravedad, es utilizado como una superficie de referencia para las alturas; el Nivel Medio del Mar (NMM) es la mejor aproximación para esta superficie. El significado físico de las superficies de gravedad equipotenciales se puede revisar fácilmente ya que cada punto debe ser ortogonal a la dirección indicada por una línea vertical.

Al contrario que el elipsoide, el geoide no se puede crear matemáticamente o utilizarse en cálculos porque su forma depende de la distribución irregular de la masa dentro de la tierra.

2.2 El Datum

Un Datum es un Sistema de Referencia Geodésico definido por la superficie de referencia precisamente posicionada y mantenida en el espacio; y es generada por una red compensada de puntos.

El SP-32 (OHI – 5ta Edición 1994) define el Datum geodésico como *"un conjunto de parámetros que especifican la superficie de referencia o el sistema de referencia de coordenadas utilizado por el apoyo geodésico en el cálculo de coordenadas de puntos terrestres; comúnmente los datums se definen separadamente como horizontales y verticales"*.

La determinación de una única superficie de referencia para toda la Tierra, esencial para el uso de los sistemas de satélites y las asociadas técnicas de levantamientos y posicionamiento, ha sido en el pasado de poco interés y difícil de alcanzar, debido a que las técnicas de geodesia y topografía de levantamiento son de carácter esencialmente local. Por esta razón, existen muchos sistemas de geodesia local en el mundo entero, todos definidos con el único propósito de obtener una buena aproximación sólo para el área de interés.

Además, para cada nación es normal encontrar dos superficies de referencia definidas de diferentes maneras, porque se ha hecho una clara separación entre la determinación de las posiciones. La Figura 2.3 intenta mostrar esta relación.

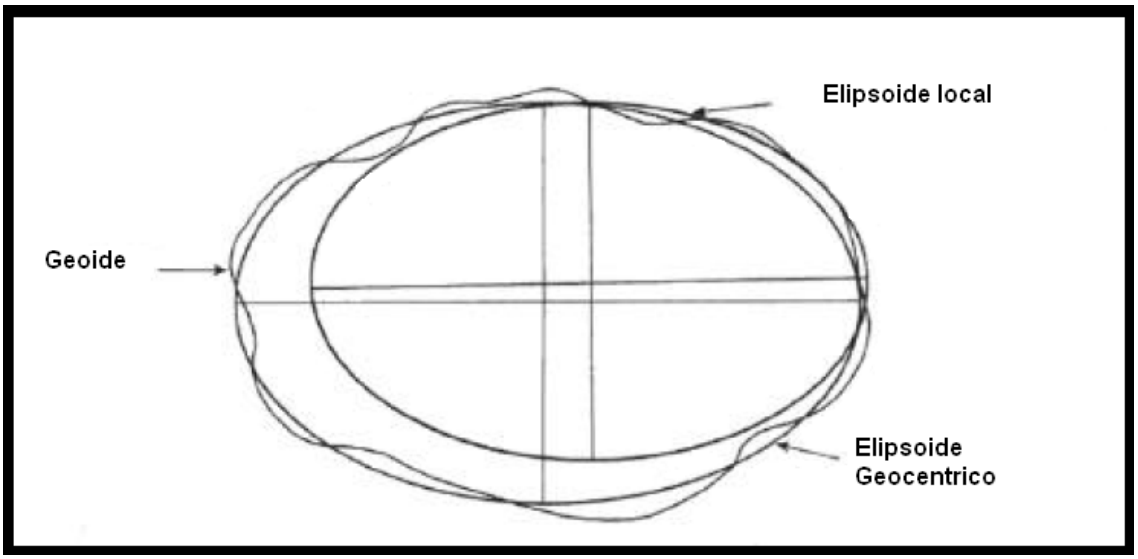


Fig. 2.3 "Orientación del Datum"

2.2.1 El Datum horizontal

El datum horizontal es un modelo matemático de la tierra que se usa para calcular las coordenadas geográficas de puntos. Un elipsoide de dos ejes de referencia en conjunto con un sistema local es un sistema de referencia geodésica (el cual es bi-dimensional). Se define de un grupo de 8 parámetros: 2 para la forma del elipsoide y 6 para la posición y orientación. Este sistema de referencia no es geocéntrico, esto quiere decir que el centro del elipsoide está desplazado del centro de la masa de la Tierra por una cantidad de cerca de 100 metros; adicionalmente la simetría de los ejes de los elipsoides no están alineados con los ejes promedio de rotación terrestre aunque las variaciones angulares son muy pequeñas, un orden similar en cantidad para la exactitud de las capacidades de medida angular más sofisticados.

El elipsoide local debe ser posicionado y orientado con respecto a la tierra para permitir la traslación de las cantidades geométricas medidas (distancias, ángulos, desniveles) al cálculo de las posiciones relativas a las coordenadas elipsoidales de un punto, seleccionadas convenientemente en relación a los requerimientos locales. Con los desarrollos en la tecnología satelital, ahora es posible obtener directamente coordenadas en comparación con un sistema geocéntrico el cual no requiere modificación por el usuario y puede ser utilizado internacionalmente. En el pasado, cuando no era posible el posicionamiento geocéntrico, la única manera para posicionarse y referenciarse directamente a un sistema de referencia fue el establecimiento de un punto inicial (punto de origen) y una conexión con el sistema astronómico local (definido por la vertical local y por el eje de rotación terrestre).

Hay dos parámetros para la forma que identifican un elipsoide, los otros seis (6 grados de libertad de un cuerpo rígido en el espacio), los cuales tienen que ser determinados en el punto inicial, son los siguientes:

a. Latitud geodésica o elipsoidal;
b. Longitud geodésica o elipsoidal;
c. Elevación sobre el geoide (o altura ortométrica);
d. Dos componentes de la desviación vertical.
e. Acimut elipsodico para una dirección que tiene al origen como su punto.

La norma seguida que para la conexión de dos superficies fundamentales, elipsoide y geoide, seleccionando el punto de origen para una altura geodésica conocida, nos da una latitud y longitud determinada astronómicamente. Por consiguiente, se está forzando a las coordenadas elipsoidales del punto de origen para que coincidan con las coordenadas astronómicas o celestiales.

Esta condición produce dos efectos fundamentales:

a. Enlaza un punto programado en el elipsoide a una dirección en el espacio (eliminando dos grados de libertad);
b. Asegura que el punto es concurrente con el eje normal del elipsoide y con el eje vertical del geoide (un adicional de dos grados de libertad fijos removidos).

Al atribuir el punto de origen de la altura elipsoidal para que coincida con alturas geodésicas conocidas y alineando el eje de rotación elipsoidal en la dirección del norte astronómico, es posible fijar los dos grados de libertad que quedan del elipsoide relativos al geoide:

a. Deslizando a lo largo la normal / vertical.
b. Rotándolo alrededor de éste.

Al completar estas operaciones, el elipsoide de referencia local queda ubicado a través del punto de origen. Ver Figura 2.4 para una descripción grafica de la relación entre 2 elipsoides.

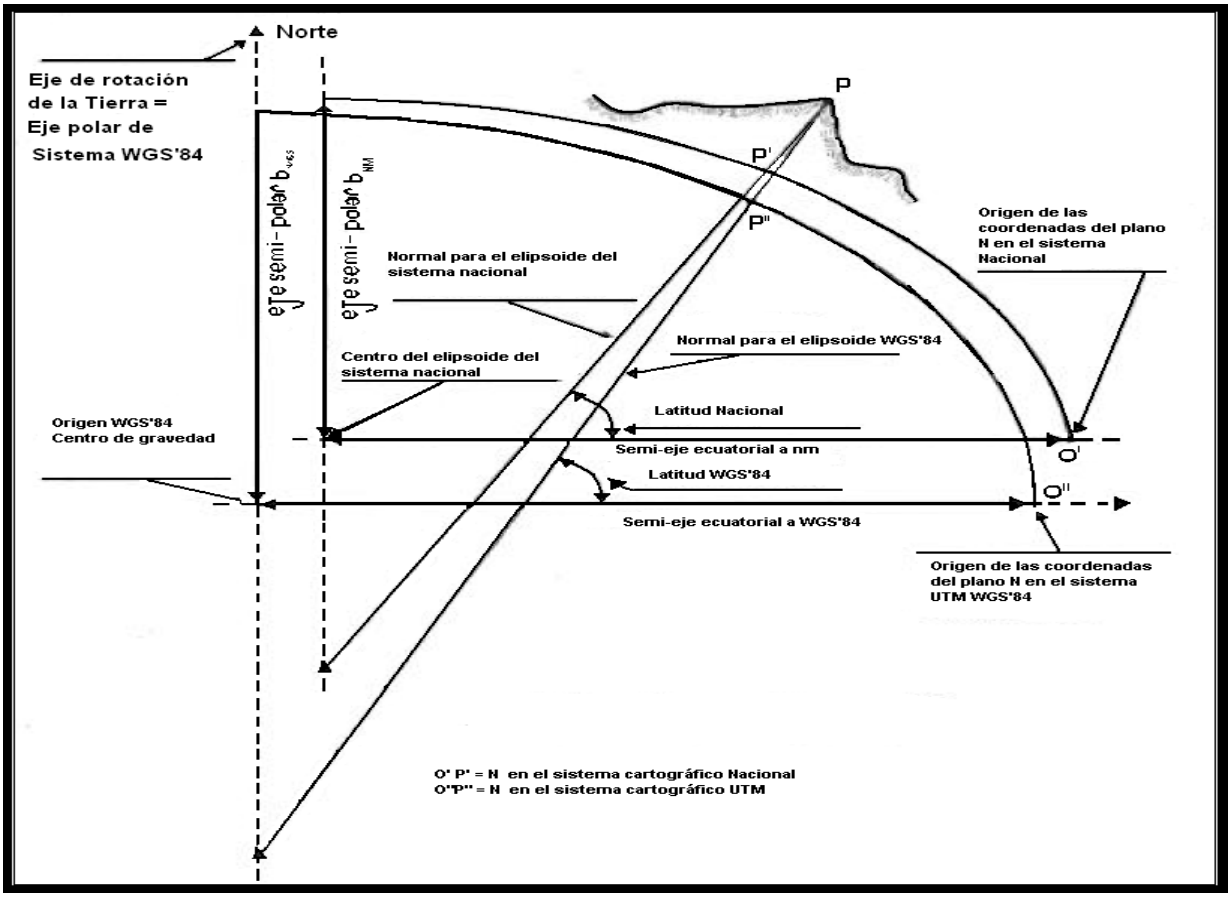


Fig. 2.4 "Orientación del Datum Horizontal"

2.2.2 Tipos de Datum

Los sistemas de geodesia local utilizados en la cartografía y geodesia antes del surgimiento de los sistemas de satélite se basaban, como se explicó anteriormente, en elipsoides que ajustaban aproximadamente la superficie del geoide local.

De esta forma, en las aplicaciones operacionales, los ajustes entre la vertical y la normal elipsoidal se reducen y casi insignificante, medidas angulares sobre la tierra pueden ser expresadas por figuras elipsoidales sin correcciones. Esta situación puede ser considerada válida en casos de naciones pequeñas con un área de superficie limitada; también se puede aceptar, pero con aproximación degradada, para zonas más anchas, como las de Europa o de los Estados Unidos.

La demanda de sistemas de referencia más amplios ha crecido durante las últimas décadas de acuerdo al proceso general de globalización.

En los últimos 50 años, se reconoció la necesidad de encontrar un sistema de referencia único para todo el globo, en donde se puedan presentar los productos cartográficos, geodésicos y gravimétricos. Con el surgimiento de la geodesia satelital se adoptó la referencia esencial geocéntrica y se avanzó en la necesidad de crear una aproximación medianamente buena para cada parte del globo.

Los primeros sistemas con estas características fueron desarrollados por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos: los modelos WGS60, WGS66 y WGS72 tenían mucha confiabilidad en cuanto a la realidad física terrestre, se culminó con la creación del WGS84.

WGS84 es el acrónimo de "*World Geodetic System 1984"* (Sistema geodésico Mundial 1984) y se define al sistema como geodésico y universal en 1984. Está representado con un sistema cartesiano OXYZ con el origen en el centro de la masa convencional de la tierra y el eje Z dirigido hacia el polo Norte convencional de la tierra *(CTP.Conventional Terrestrial Pole)*, como lo define el BIH *(Bureau Internacional Le Heure)* en 1984, hoy conocida como IERS *(Internacional Earth Rotation System)* Sistema Internacional de Rotación Terrestre. El eje X está en la intersección del plano del meridiano de origen pasando por Greenwich, definido así por el IERS en 1984, y el CTP se refiere al plano ecuatorial. El eje Y completa una rotación ortogonal en dirección a las manillas del reloj y está en el plano ecuatorial a 90º este del eje X. Los puntos cartesianos coinciden con la tierra. El origen de las coordenadas y de los ejes está también en el centro de la masa y los ejes del elipsoide coinciden con el sistema (elipsoide de dos ejes, geocéntrico WGS84), el eje Z es el eje de la simetría.

El EUREF es la sub. Comisión de la IAG *(International Association of Geodesy,* Asociación Internacional de Geodesia) responsable del ETRS *(European Terrestrial Reference System,* Sistema de Referencia Terrestre Europea) aprobado por el ETRF (*European Terrestrial Reference Frame,* Marco de Referencia Terrestre Europea) en 1989. El sistema ETRF89 es una realización del sistema WGS84.

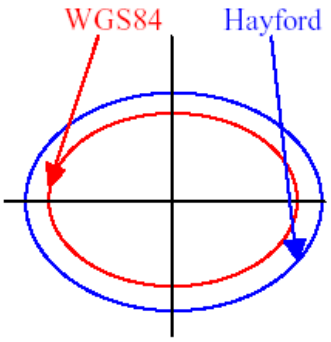
2.2.3 La transformación del Datum

Con el desarrollo de un modelo único, se hizo posible que todas las cartas estén bajo un solo sistema de referencia; sin embargo la transformación de las cartas de un datum a otro no es una operación simple. Por esta razón muchas cartas que se encuentran en circulación hoy en día siguen estando referidas a sistemas viejos.

Las coordenadas cartesianas que se refieren a un sistema geocéntrico o las coordenadas geográficas que se refieren a un elipsoide geocéntrico son generadas por las técnicas de posicionamiento satelital. Para transformar estas coordenadas en el sistema local relacionado al área operacional, es necesario aplicar algoritmos con parámetros determinados mediante cálculos de probabilidad para adaptar los resultados muy precisos de las medidas satelitales con la red obtenida por el sistema local con sus deformaciones inevitables.

Cada elipsoide, que está orientado localmente, está desplazado inevitablemente del eleipsoide geocéntrico adoptado en el sistema WGS84, no sólo por sus parámetros diferentes, resulta más importante, por la posición del centro y de la orientación de los ejes. Por esto, las coordenadas geográficas del mismo punto en el datum local y en el global son diferentes, los desplazamientos traducidos en distancias pueden ser de cientos de metros.

El diagrama muestra las diferencias dimensiónales entre el elipsoide de Hayford y el correspondiente al WGS84



Sistema	Semi-eje Ecuatorial [m]	Semi-eje Polar [m]
WGS84	6 378 137	6 356 752.31
ED50	6 378 388	6 356 911.95

Note que el elipsoide WGS84 es más pequeño tanto en las dimensiones ecuatoriales como en las polares.

Las variaciones en dimensión y en origen se reflejan en la latitud geodésica (o elipsoidal) y en las coordenadas del Norte horizontal (Gaussian) de un punto de la superficie terrestre; lo mismo ocurre con la longitud elipsoidal y con las coordenadas del Este.

La comparación con las coordenadas geográficas expone una confusión considerable en la evaluación de coordenadas horizontales definidas por la adopción de la representación Gauss (UTM). De hecho, los desplazamientos de las coordenadas Gaussian no son las mismas que el valor lineal de los desplazamientos en las coordenadas elipsoidales. Esto es debido a que el largo del arco cubierto por un grado de latitud o longitud depende de la dimensión del elipsoide y también porque cambia el punto de origen. Es por esto que es vital darles a los usuarios la información completa y el entrenamiento necesario para entender los problemas.

Para transformar las coordenadas geográficas y horizontales de un sistema a otro es necesario aplicar a cada punto alguna variación en $\Delta\varphi, \Delta\lambda, \Delta N, \Delta E,$ las cuales son funciones de un punto; los desplazamientos a ser aplicados a cada punto se alteran con la posición.

La transformación entre dos datum locales diferentes, en la misma área, se realiza frecuentemente utilizando métodos empíricos, basados en el hecho de que las dos superficies de referencia, aunque son diferentes, son muy similares y la principal diferencia es la orientación. En el caso de la transformación entre un sistema geocéntrico global, como los del WGS84, y un sistema geodésico local, las dos superficies están separadas de sí mismas y es por lo tanto necesario aplicar algoritmos de transformación más generales.

La transformación del datum ha adquirido una gran importancia con el surgimiento del GPS; en la práctica es normalmente necesario que un levantamiento de GPS incluya algunos puntos del antiguo sistema geodésico en los que el levantamiento debe estar estructurado; esto es posible para calcular los parámetros de transformación apropiados que son válidos para el área de interés inmediato.

El método más simple y más comúnmente utilizado consiste en asumir la existencia de la rotación y traslación de los ejes con un factor de escala en el sistema cartesiano conectado a los elipsoides anteriormente mencionados:

$$\begin{vmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{vmatrix} + (1+K)\cdot \begin{vmatrix} 1 & E_Z & E_Y \\ E_Z & 1 & E_X \\ E_Y & E_X & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{vmatrix} \qquad \textbf{(2.1)}$$

Donde:

(X_1 Y_1 Z_1)	Coordenadas cartesianas de un punto en el primer sistema (S1)
(X_2 Y_2 Z_2)	Coordenadas cartesianas del mismo punto en el segundo sistema (S2)
(X_0 Y_0 Z_0)	coordenadas, en S2 del origen de S1;
(1 + K)	**f**actor de la escala;
(E_x, E_y, E_z)	rotaciones alrededor del eje S1 (expresadas en radiantes y actuando en sentido contrario a las agujas del reloj).

Este modelo implica la congruencia geométrica perfecta, excepto por el factor de escala, entre todos los puntos de la red geodesica, determinados con los métodos GPS (por ejemplo en S2) en los mismos puntos, determinados con las técnicas tradicionales de triangulación y de trilateración en S1. Naturalmente, éste no es siempre el caso en la realidad, principalmente debido a las distorsiones inducidas en las redes geodésicas clásicas hasta la propagación de errores que inevitablemente caracterizan los procedimientos tradicionales de medición. La relación (2.1) muestra en la mayoría de los casos si es aplicable dentro de las extensiones limitadas de las redes.

Si en conjunto con el (2.1) se utiliza la siguiente fórmula.

$$\begin{cases} X = (N+h)\cdot \cos\varphi \cdot \cos\lambda \\ Y = (N+h)\cdot \cos\varphi \cdot \operatorname{sen}\lambda \\ Z = \left[(1-\alpha)^2 \cdot N + h\right]\cdot \operatorname{sen}\varphi \end{cases} \text{ con } \quad N = \frac{a}{\sqrt{\cos^2\varphi + (1-\alpha)^2 \cdot \operatorname{sen}\varphi}} \qquad \textbf{(2.2)}$$

Ambas fórmulas conectan las coordenadas geodésicas **φ**, **λ**, & **h** relacionadas al elipsoide con los semi ejes 'a' y la elipticidad (o compresión o aplanamiento) **α,** con las coordenadas X, Y y Z relacionadas con el sistema geocéntrico cartesiano asociado, la fórmula de transformación entre los diferentes sistemas son producidos en las coordenadas geodésicas.

Los siete parámetros, cuyo conocimiento son necesarios para aplicar (2.1), se pueden determinar, en un sistema local, como la solución del ajuste por mínimos cuadrados, en los que las cantidades observadas son las coordenadas (cartesianas o geodésicas) de un cierto número (≥ 3) de puntos de la red, obtenidos vía observaciones de GPS en S2 y de los métodos clásicos terrestres en S1.

2.2.4 Datum vertical

El primer elemento necesario para la definición de la altura es la superficie de referencia.

Una vez establecida ésta, se especifica la dirección ortogonal necesaria para la medida de elevación, asi como el desarrollo de la escala a lo largo de la dirección desde el sistema de referencia adoptado.

Como resultado de la forma en que estos elementos son seleccionados, se pueden definir diferentes sistemas de altura como:

a. 'h' Altura elipsoidal: adoptada como superficie de referencia a un elipsoide de dos ejes;

b. ‘H’ Altura ortométrica (o elevación sobre la superficie del geoide): Toma como referencia una superficie equipotencial de campo de fuerza de gravedad, aproximada al MSL = NMM (Nivel Medio del Mar) aislado de las oscilaciones periódicas y corregido de las variaciones no periódicas (geoide).

El segundo sistema permite la preservación del significado físico de la altura en el NMM. Sin embargo, las complicaciones matemáticas surgen cuando se determina la diferencia entre las dos superficies (elipsoide – geoide) conocida como ondulación geoidal, cuyo conocimiento es necesario para conectar los dos sistemas de altura.

La siguiente figura muestra la principal relación entre la altura elipsoidal **h** y la ortométrica **H**.

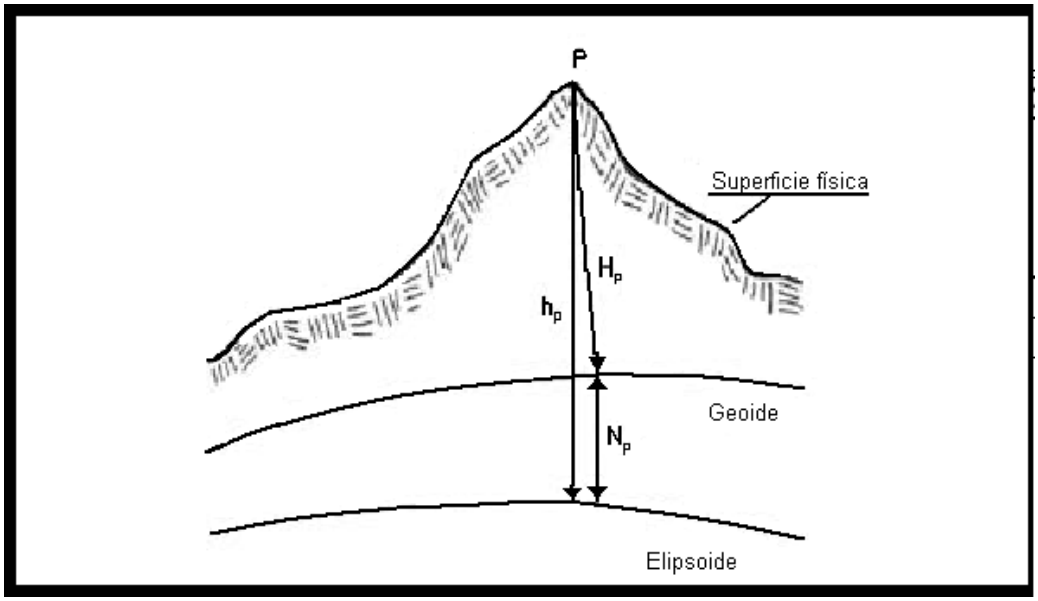


Fig. 2.5 “Datum vertical”

En una primera aproximación, dentro de pocos milímetros:

$$h_p = H_p + N_p \qquad \textbf{(2.3)}$$

$\mathbf{h_p}$ se puede medir con el GPS, mientras $\mathbf{H_p}$ es observable con operaciones de nivelación corregidas por observaciones de gravimetría; $\mathbf{N_p}$ (altura del geoide u ondulación) es la elevación sobre la superficie del punto P proyectado en el geoide a lo largo del geoide vertical (línea vertical). Esta fórmula es una aproximación ya que no considera diferencias de longitud entre los normales o factores de escala diferentes que resultan de los diferentes tipos de observaciones. Para propósitos cartográficos el error producido por esta aproximación puede ser normalmente ignorado.

Para la altimetría tradicional en el trabajo cartográfico, el NMM está asignado convencionalmente al cero de elevación (o de nivel), ya que la superficie del mar está disponible desde casi todas partes. El NMM está determinado suficientemente por las observaciones de las mediciones de marea durante un largo período para filtrarlo de los efectos de marea de corto plazo.

La SP-32 (OHI en su 5ta edición,1994) define el NMM como *“La ALTURA promedio de la superficie del MAR a una ESTACION DE MAREA para todo el comportamiento de la MAREA en un período de 19 años, usualmente determinado por mediciones horarias desde un punto fijo predeterminado como nivel de referencia (DATUM de CARTA)”*.

Para un área específica de interés, el Geoide local se define como lo superficie equipotencial del campo de fuerza de gravedad para un punto predeterminado dentro de la misma área (normalmente un punto sobre o cerca de la línea de costa localizado a una altura NMM convencionalmente definida).

Comenzando por este punto, considerado como nivel fundamental de referencia cero, y usando las técnicas de nivelación geométrica, es posible atribuir una altura geoidal a cada punto, conocido como cota (elevación) corriente para cada punto (materializado como pilar) en una red de apoyo que cubre el área como marco de referencia altimetrico.

Dependiendo de donde estemos ubicados, el MSL puede estar más cerca o más lejos del centro de la tierra en comparación con otro punto; las elevaciones no benefician la definición global del promedio del nivel del mar y en la actualidad no hay un sistema de referencia altimétrico global que permita la unificación o la comparación directa a ser aplicada entre elevaciones medidas en varios sistemas de elevación.

2.3 Sistemas de coordenadas

La posición se define normalmente mediante coordenadas curvilíneas como la latitud, la longitud y la altura sobre la superficie de referencia. En este caso muestra una posición en dimensión (2+1).

Es necesario y correcto distinguir entre los siguientes sistemas de coordenadas:

a. Plano rectangular (grilla);
b. Esférico;
c. Elipsoidal (Geodésica);
d. Geoidal (Astronómica).

según si el plano, la esfera, el elipsoide o el geoide es usado como superficie de referencia.

Las coordenadas elipsoidales son también llamadas geodésicas, mientras que las coordenadas geoidales son las astronómicas.

De acuerdo a esta interpretación, el término “coordenada geográfica” es un término general que incluye los tipos mencionados en **c** y en **d.**

2.4 Principios de cartografía

La representación de un elipsoide en una superficie (horizontal) plana es el problema fundamental y el objetivo de la cartografía.

Este problema se hace más complejo ya que la superficie elipsoidal no se puede desarrollar (o la superficie esférica en un ámbito más reducido) en una superficie plana. Entonces no es posible transferir los detalles de una referencia tridimensional a un plano de papel sin los parámetros que las describen (distancias, áreas, ángulos) sufriendo deformaciones considerables. La búsqueda del mejor método de hacer esta transferencia se enfocará, entonces, hacia la eliminación de algunas de ellas, o hacia la inclusión de ellas dentro de ciertos límites aceptables.

De acuerdo al método seleccionado hay:

a. Cartas en las que las distancias son conservadas (cartas equidistantes): esta condición no puede ser lograda en la totalidad del papel, sólo a lo largo de direcciones particulares. Esto significa que a lo largo de ciertas líneas que la relación (escala) es preservada entre las distancias medidas en el papel y las distancias medidas en la superficie de referencia;

b. Cartas en las que las áreas son conservadas (cartas equivalentes o de igual área): esta condición se puede lograr en la totalidad del papel. Esto significa que la relación es preservada entre un área medida en el papel y un área medida en la superficie de referencia. Las deformaciones lineales o angulares se introducen, sin embargo, creando alteraciones de forma;

c. Las cartas que conservan los ángulos (cartas conformes): éstas también se pueden lograr en la totalidad el papel. Esto significa que el ángulo medido entre dos lineas geodésicas transformadas al papel es igual al ángulo entre dos direcciones correspondientes en la superficie de referencia (elipsoide o esfera);

d. Las cartas en las que la escala es la misma en todas las direcciones en cualquier punto (cartas ortogónicas): los ángulos alrededor de un punto se conservan y las formas pequeñas no se distorsionan en la totalidad del papel.

e. Las cartas en donde ninguno de los elementos descritos anteriormente se conserva rigurosamente pero donde las deformaciones relativas están presentes con tolerancias apropiadas (cartas "afilácticas" o no ortomórficas).

Existen tres índices que permiten la evaluación de la entidad de deformación, y por lo tanto permiten calcular las correcciones relativas. Se denominan "relaciones de deformación lineal, superficial y angular" y están dadas, respectivamente por las siguientes formas:

$$\begin{aligned} m_l &= dl'/dl \\ m_s &= dS'/dS \\ m_\alpha &= \alpha' - \alpha \end{aligned} \qquad \textbf{(2.4)}$$

Donde **dl'**, **dS'** y **α'** son los elementos geométricos que pertenecen al papel y **dl**, **dS** y **α** son los elementos correspondientes al elipsoide (**α' – α** es la modificacion angular que se produce entre la rotacion del elemento **dl** al compararse con la del homólogo **ds'**). Los elementos lineales y superficiales deben ser pequeños (infinitesimales) para ser aptos en la inmediata identificación de las deformaciones.

La selección del sistema cartográfico depende del propósito para el que la carta se está produciendo. Si la carta se va a usar para la navegación, debe ser de tipo conforme. Los ángulos en el papel (por ejemplo los ángulos entre los cursos marcados en el papel y los meridianos) reproducirán, sin variaciones, la dirección angular del vector.

El procedimiento, a través del cual se establece una conexión entre los puntos del elipsoide y los puntos del plano cartográfico puede ser:

a. Geométrico: Consiste en establecer una relación proyectiva entre ellos a través de las construcciones geométricas apropiadas, seguidas del proceso analítico relativo (trigonométrico en general);
b. Analítico: Consiste en establecer una conexión analítica no-proyectiva entre los puntos. Es necesario escribir un sistema de ecuaciones que una las coordenadas geográficas de varios puntos en el elipsoide con las coordenas en el plano ortogonal en la hoja referenciadas a un sistema de ejes apropiado.

El primer método de construcción de cartas de llama "proyección", el segundo "representación". Los dos métodos no son incompatibles, cada sistema puede ser articulado a través de un arreglo de ecuaciones y sistemas proyectivos apropiados pueden responder a varios sistemas de análisis, aunque estos sean aproximados.

En la cartografía moderna es preferible hacer cartas a través de “representaciones”.

Existen sistemas mixtos en los que elementos seleccionados de la red se transforman con un sistema y otros elementos con otro sistema. Estos sistemas se denominan “proyecciones o representaciones modificadas”, se utilizan comúnmente en la construcción de las cartas debido a sus características particulares que se ven en el producto final, los cuales no pudieron haber sido creadas en una simple proyección o representación.

2.5 Proyecciones

2.5.1 Proyecciones en perspectiva (o geométricas)

Para reproducir una sección determinada de un elipsoide en una carta, es necesario estudiar el centro del área y encontrar el plano tangente del elipsoide en ese punto. Es entonces posible proyectar las figuras geométricas elipsoideales en ese plano desde un centro de proyección adecuado.

Dependiendo de la posición seleccionada para el punto de proyección, se producen varias transformaciones, cada una con características particulares.

El centro de la proyección se puede fijar:

a. En el centro del elipsoide (centro gráfico o proyección acimutal): las cartas producidas con este sistema son útiles para la navegación ya que la transformación de los arcos de círculo máximo en esferas aisladas locales producen segmentos de línea recta en el plano de la proyección;

b. En relación al punto diamétricamente opuesto a la zona a ser representada (proyección estereográfica): es la única proyección perspectiva conforme y generalmente se utiliza para cartografía de zonas polares;

c. En la extensión del diámetro, externo del elipsoide (proyección escenográfica);

d. Siempre en el mismo diámetro pero a una distancia infinita (proyección ortográfica).

2.5.2 Proyecciones cónicas

La proyección cónica consiste en tomar una superficie cónica posicionada de acuerdo a la porción del elipsoide para el que se está creando la carta y proyectando el elipsoide en la superficie cónica desde centro del elipsoide. Posteriormente, la superficie cónica se convertirá en un plano y la carta producida no se deformará (equidistante) a lo largo de la línea de la tangente; en todos los demás lugares es afilática o no ortomorfica. El caso más común se representa en la “proyección cónica directa”, la cual, para hacerla conforme, Lambert ha mantenido sin cambios el principio de proyección para trazar los meridianos pero él ha remplazado un sistema de representación analítica por el método de proyección para el trazado de paralelos. Esta es una proyección ortomórfica modificada.

2.5.3 Proyecciones cilíndricas

Las proyecciones cilíndricas se obtienen tomando una superficie cilíndrica, preparada con variaciones, tangente al elipsoide y proyectando sobre ésta los puntos del elipsoide, desde su centro.

Entre las numerosas posibilidades para la ubicación del cilindro de proyección, vamos a considerar dos que originan, después del desarrollo sobre el plano, los dos sistemas cartográficos más usados: la proyección cilíndrica directa y la transversa.

2.5.3.1 Proyección cilíndrica directa

La proyección cilíndrica es una tangente al ecuador y ésta tiene un eje coincidente con el eje más pequeño del elipsoide terrestre. La grilla (cuadrícula) del meridiano y del paralelo se transforma a sí mismas, desde ese cilindro, en una serie de líneas rectas ortogonales entre ellos. La proyección es afilatica o “no ortomórfica” en la banda ecuatorial; es conforme y las deformaciones son pequeñas en proximidad al ecuador pero crecen al aproximarse a los polos.

La proyección cilíndrica directa puede hacerse conformal u ortomórfica introduciendo una conexión analítica entre los paralelos del elipsoide y los paralelos de la carta; la misma continua como la proyección de origen de los meridianos transformados.

La carta modificada obtenida por esta vía, llamada Carta de Mercator (o Proyección Mercator), tiene la ventaja de estar conformada y de presentar grillas geográficas transformadas como líneas ortogonales rectas entre ellas. En resumen, éste parece ser el sistema cartográfico ideal para el área ecuatorial. Para áreas en latitudes p/romedio, se puede considerar una superficie cilíndrica que intercepte el elipsoide: no habrá más ausencia de deformaciones en el ecuador, pero habrá reducciones entre las bandas entre los dos paralelos seleccionados y expansiones en las zonas externas.

Adicionalmente, la Carta Mercator permite a la navegación el uso de la “línea loxodrómica o de rumbo constante”. Aunque no representan la distancia más corta entre dos puntos, la cual es la geodésica u ortodrómica, las líneas loxodrómicas están seguidas de distancias cortas, ya que el ángulo de la ruta puede ser fácilmente igualado al promedio; por esta razón, este tipo de cartas son utilizadas usualmente para la navegación.

2.5.3.2 Proyección cilíndrica transversal

La proyección cilíndrica es tangente a un meridiano con el eje colocado sobre el plano ecuatorial y la superficie del elipsoide se proyecta sobre ésta desde el centro del elipsoide mismo. Las deformaciones no se ubican en el meridiano tangente; pero éstas se incrementan con la distancia desde él.

Las grillas de meridiano y paralelo (cuadrículas) son transformadas en una red de curvas que se interceptan en el mismo ángulo. El efecto de la deformación es limitado al reducir la zona a ser proyectada, lo cual se logra dividiendo la superficie terrestre en zonas de ancho limitado (generalmente 15º de longitud), y proyectándolas sobre un cilindro tangente a sus meridianos central, a lo largo del cual se evitan las deformaciones. Para reducir futuras deformaciones, la intersección del cilindro, en vez de una tangente, puede ser introducida. Con este método, no ocurre la ausencia de deformaciones en el meridiano central, sino en dos líneas de intersección que son simétricas a él: en el área adjunta entre estas líneas hay contracciones, mientras que afuera de estas zonas hay expansiones crecientes.

2.5.4 Representaciones

La representación Gauss, que es la base de la cartografía oficial de muchos países, “analíticamente” transforma la grilla geográfica (Fig. 2. 6), a través de ecuaciones de correlación muy complejas, en una red muy similar a la obtenida con la proyección cilíndrica transversa(otransversal), al otorgarle características fundamentales de conformidad (en adición a las comunes de las proyecciones: rectilínearidad entre las imágenes del ecuador y un meridiano, y equidistante a lo largo de un meridiano).

La ausencia de equidistancia (excepto para el meridiano central seleccionado) produce la variación de la escala en el papel, en relación con la posición del elemento de medida. La deformación aumenta con la distancia desde el meridiano central y el ecuador. Para reducir las deformaciones de la superficie a ser representada se delinea cuidadosamente; el elipsoide se divide en zonas (o fajas) con

distintos meridianos centrales (o meridiano de zona) seleccionado como el meridiano de referencia en el que se logra la equidistancia.

A través de la fórmula de transformación o las ecuaciones de Gauss, es posible obtener las coordenadas cartográficas, por lo tanto el plano de los puntos presentes en el elipsoide (Ej. Nodos de la grilla geográfica) en una representación del plano X-Y (o N-E), recordando que el meridiano transformado se muestra con el eje X y el Y se muestra en la dirección paralela para la protección del eje del cilindro.

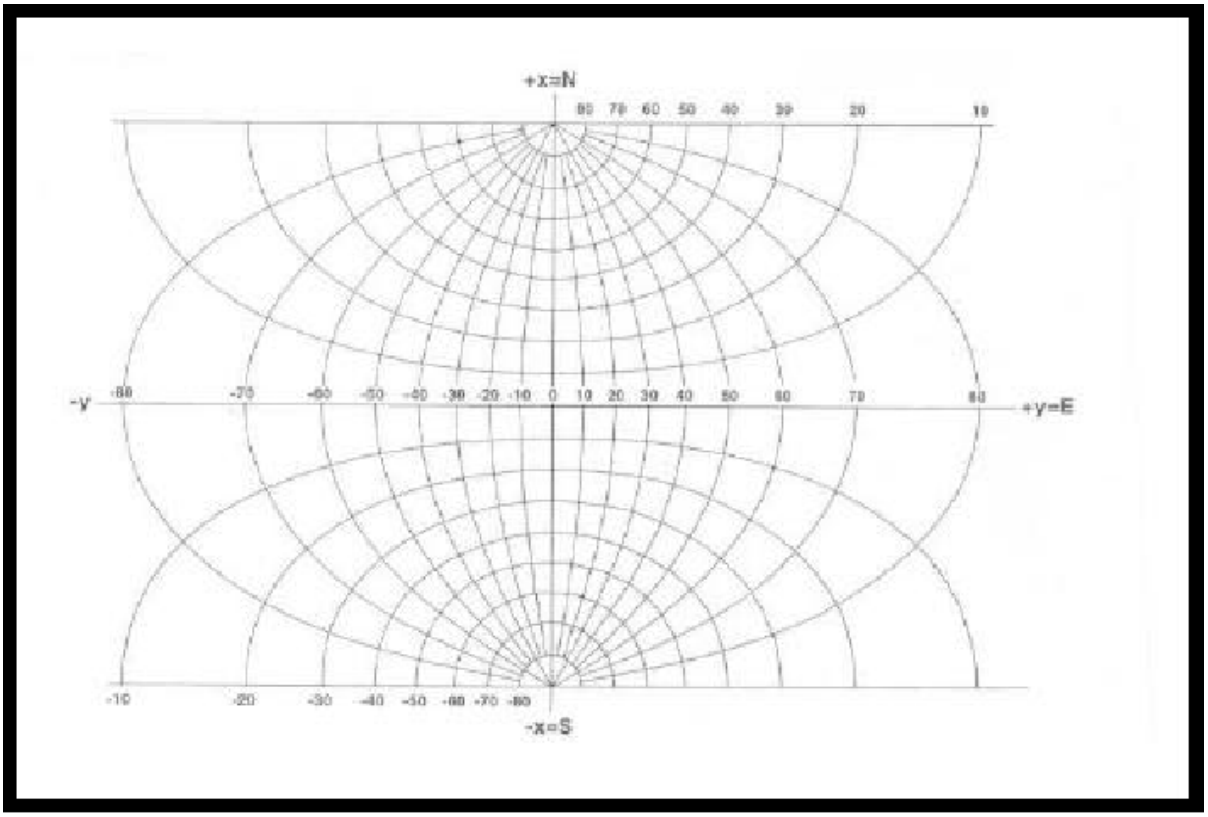


Fig. 2.6 "Grilla Geográfica"

En el papel, los puntos con la misma abscisa u ordenada son líneas rectas discretas paralelas al eje. Al dibujar en el plano de la carta algunas de estas líneas rectas (aquellas correspondientes a los números enteros en kilómetros), se crea una red enrejada de cuadrados, llamada "grilla" o cuadrícula.

En cartas modernas, en las hojas sólo se muestra la cuadrícula o grilla, mientras que de la red geográfica sólo se dan trazos de paralelos y meridianos en el margen de la hoja.

La presencia de la grilla permite la operación de cálculo en el plano horizontal dentro de la faja completa, con la única necesidad de corrección de las distancias calculadas a través de coordenadas con la ayuda del coeficiente de deformación lineal. Debido a que la curva transformada de la línea geodésica no es un segmento en línea recta se deben introducir las correcciones de los ángulos (a través de la "reducción de cuerda").

El sistema cartográfico basado en la representación de Gauss es reconocido internacionalmente como "La Proyección Transversal Mercator Universal" o "UTM" debido a la analogía con la proyección cilíndrica inversa obtenida de la proyección cilíndrica directa (Mercator).

2.5.5 Proyección Universal Transversal Mercator (UTM)

Las coordenadas "Universal Transversal Mercator" (UTM por siglas en inglés) son usadas en levantamientos y en trazados de mapas cuando el tamaño del proyecto se extiende a través de varias regiones en las zonas del plano o proyecciones y también son utilizadas por los Ejércitos de la OTAN, las Fuerzas Aéreas y las Armadas para aplicaciones de trazado de mapas, cartografía y geodesia.

Las diferencias entre la proyección UTM y la proyección TM (Transversa de Mercator o de Gausss) están en la escala en el meridiano central, origen y en la representación de la unidad de medida:

- La escala es 0,9996 en el meridiano central de la proyección UTM;
- La coordenada norte (NUTM) tiene como origen cero metro en el ecuador para el Hemisferio Norte hasta la latitud ochenta y cuatro grados norte (84ºN);
- La coordenada sur (SUTM) tiene como origen diez millones de metros (10.000.000 m) en el ecuador para el Hemisferio Sur hasta la latitud ochenta grados sur (80ºS);
- La condenada este (EUTM) tiene el origen a quinientos mil metros (500.000 m) en el meridiano central.
- El sistema UTM está dividido en sesenta (60) zonas longitudinales. Cada zona es seis grados (6º) de ancho extendiéndose tres grados (3º) a cada lado del meridiano central.

Para calcular las coordenadas UTM de un punto se deben determinar las coordenadas TM:

- Las coordenadas norte o sur (NUTM, SUTM) son calculadas multiplicando el factor escala (0.9996) en el meridiano central por el valor de las coordenadas TM norte o sur (NTM, STM);
- En el Hemisferio Sur , se debe agregar diez millones de metros (10.000.000 m) a la cuenta del origen;
- El UTM este (EUTM) se deriva de multiplicar el TM este (ETM) por el factor de la escala del meridiano central (0.9996) y se le agrega quinientos mil metros (500.000 m) a la cuenta del origen.
- Las coordenadas UTM siempre se expresan en metros.

UTM Norte, Sur, Este

Hemisferio Norte:	$N_{UTM} = (0.9996)\ N_{TM}$
Hemisferio Sur:	$S_{UTM} = (0.9996)\ S_{UTM} + 10{,}000{,}000$ m
Coordenada Este:	$E_{UTM} = (0.9996)\ E_{TM} + 500{,}000$ m

La zona UTM (Z= número de zona UTM) puede ser calculada desde la longitud geodésica de un punto (convertido a grados decimales):

- $Z = (180 + \lambda) / 6$ (longitud este)
- $Z = (180 - \lambda) / 6$ (longitud oeste)

Si el valor **Z** de la zona a calcular resulta en una cantidad decimal, entonces la zona debe ser incrementada por un número de zona entera.

Ejemplo de cálculo de la Zona UTM:

λ = 15° 12’ 33.5609’’ E
Z = 195.20932247 / 6 = 32.53448
Z = 32 + 1
Z = 33

En el anterior ejemplo, **Z** es una cantidad decimal, entonces, la zona equivale a 32 + 1

3. MÉTODOS DE CONTROL HORIZONTAL

3.1 Introducción

En el campo hidrográfico, el levantamiento topográfico, establecido para enmarcar geográficamente el territorio costero o para crear las marcas del terreno para el levantamiento hidrográfico, se lleva a cabo comenzando desde estaciones topográficas establecidas anteriormente con coordenadas ya determinadas por las operaciones de levantamiento geodésico.

Dichos puntos y la red de vinculaciónforma el apoyo primario, y constituyen el sistema de referencia geodésico adoptado (Datum).

Su determinación horizontal se puede obtener por:

a. métodos clásicos de levantamiento (observaciones astronómicas y mediciones de los ángulos y las distancias);
b. métodos mixtos de levantamiento;
c. métodos fotogramétricos de levantamiento

Los dos primeros métodos cumplen con las redes básicas de control, primarios o de un orden inferior, vía operaciones de triangulación, trilateración y poligonal. Luego, desde los puntos de control primario, el apoyo se puede extender como sea requerido para las necesidades del levantamiento en particular con mediciones adicionales de los ángulos y distancias.

El desarrollo de la tecnología satelital ha permitido determinar las estaciones de una red primaria de apoyo, al mismo tiempo que una red secundaria sin la necesidad de una conexión geométrica entre ellas, incluyendo el levantamiento topográfico de un sitio en particular.

3.2 Método clásico

3.2.1 Triangulación

3.2.1.1 Principios y especificaciones

En cada país dentro de sus fronteras se conocen algunos puntos, llamados estaciones trigonométricas, levantadas en algunas maneras fijas y conectadas entre sí de alguna manera, así como una secuencia de triángulos, posiblemente de forma equilátera.

La técnica de levantamiento, llamada triangulación, crea, al medir primariamente los ángulos, la determinación de los puntos de la red triangular, con cada triángulo teniendo al menos un lado en común.

El desarrollo, formado por triángulos, puede hacerse continuando las redes (Fig. 2.7a) o en una primera fase “hacer una cadena” (Fig. 2. 7b). Este último método se puede aplicar con éxito a los levantamientos de estados en los que son anchos en latitud o en longitud (Ej. Argentina).

Adicionalmente las cadenas pueden relacionarse entre ellas mismas, en el caso de un levantamiento de una zona larga y angosta; en ese caso es relevante a un esquema más rígido, como el cuadrilátero con diagonales (Fig. 2.7c).

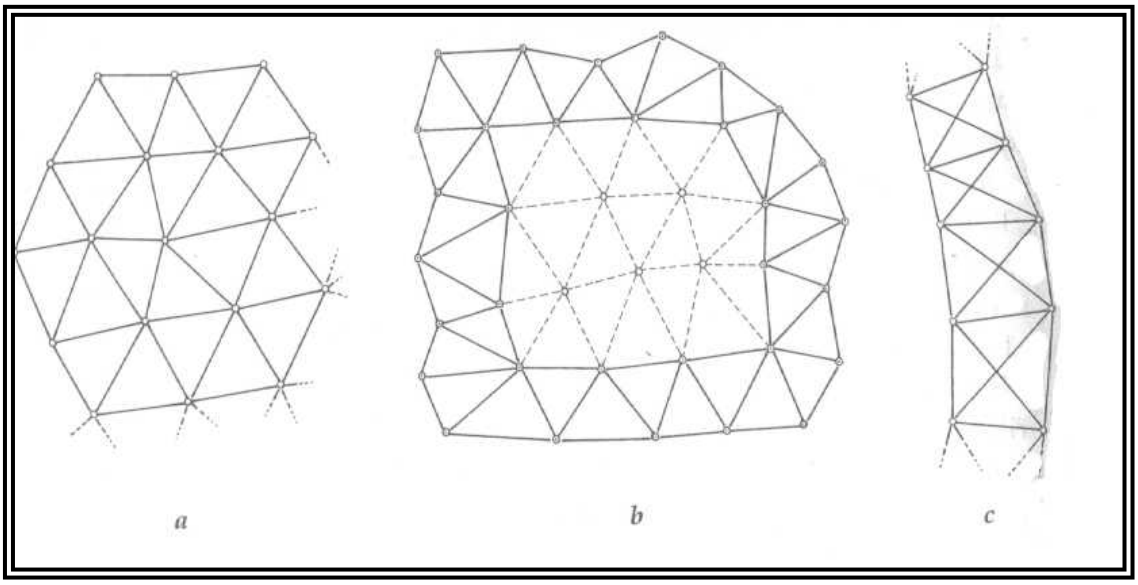


Fig. 2.7

La escala en una red puede ser lograda con la medida de un lado o base única, con todas las otras mediciones angulares. Sin embargo, los errores de la escala se acumulan a través de la red y esto se controla/corrige mejor al medir otras líneas de base (Nota: antes de que surgiera la Medida Electrónica de Distancia la medida de la distancia era una tarea larga y difícil de realizar.)

Finalmente la orientación de la red debe ser determinada a través de la medición, hablando astronómicamente, del acimut del primer lado. Como con la escala, los acimuts adicionales se deben determinar a través de la red para corregir/controlar la propagación de los errores.

3.2.1.2 Medidas de base y ángulos

Para clarificar como se realiza la medición de triangulación, se debe determinar las coordenadas de los vértices A, B, C, D, E y F. (fig.2. 8). Estos vértices están unidos de manera que pueden formar una secuencia de triángulos y, en general se mide el lado AC (normalmente llamado “base” en triangulación) y todos los ángulos de varios triángulos α_1, β_1, γ_1 del triángulo ABC; α_2, β_2, γ_2 del triángulo ABD y, así sucesivamente.

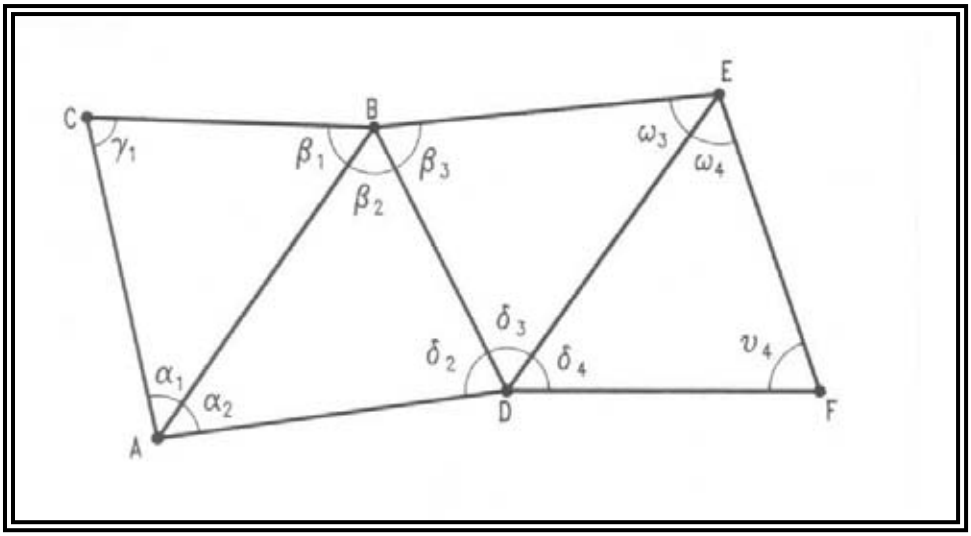


Fig. 2.8

El largo de la base de la triangulaciones primaria es del orden de aproximadamente diez kilómetros, y por esta razón, la medida de los ángulos necesita cuidado particular; es necesario utilizar teodolitos de lectura de uno a dos décimas de segundo sexagesimal, con el propósito de obtener, con apropiada reiteración, la medida de las direcciones con un error medio cuadrático en el orden de décimas de segundo.

Para lograr mediciones dentro de estas tolerancias, se le da especial importancia a las señales, que debe tener una estructura masiva, notoria y de apropiada coloración. Se pueden usar señales que brillen de día o de noche; las diurnas producidas por la luz solar (heliótropos) y las segundas por colimadores (proyectores luminosos). Ambos deben permitir ajustes de colimación libres de cualquier fase de error y por lo tanto requiere la presencia de un operador en el punto a ser colimado.

Por esta razón, en cada triángulo, al medir todos sus ángulos, la precisión de cada medida necesita de verificación; para calcular el error de cierre angular de cada triángulo (o error de cierre angular), corroborando que los resultados son inferiores a la tolerancia prefijada:

$$\varepsilon_\alpha = \left| \sum \alpha_i - 180° \right| \leq t_\alpha \qquad \textbf{(2.5)}$$

Donde la sumatoria $\Sigma\alpha_i$ es la suma de las medidas de los ángulos finalmente purificados de los excesos esféricos y después se compensan los ángulos medidos usando un método riguroso o, empíricamente añadiendo o quitando de cada ángulo un tercio del error de cierre angular.

3.2.1.3 Computación y compensación

Una vez realizada la verificación por tolerancia, se resuelve el primer triángulo ABC (en la figura 2.8) se puede resolver, al conocer una base y los tres ángulos determinando los otros dos en general a través de la aplicación del teorema del seno :

$$\overline{AB} = \overline{AC} \cdot \frac{\operatorname{sen} \gamma_1}{\operatorname{sen} \beta_1} \qquad \textbf{(2.6)}$$

$$\overline{BC} = \overline{AC} \cdot \frac{\operatorname{sen} \alpha_1}{\operatorname{sen} \beta_1} \qquad \textbf{(2.7)}$$

Ahora estamos en capacidad de resolver el segundo triángulo ABD, al determinar su base, aplicando siempre el teorema del seno y, así sucesivamente.

Si las bases medidas son más de una, es necesario planificar el cálculo de compensación con el método riguroso. El método más frecuentemente usado es el de la observación indirecta:

La hiperdeterminación (sobre abundancia de medidas) de la red permite el cálculo del ajuste de la compensación a ser tomada con una aproximación de mínimos cuadrados.

Después, por ejemplo al considerar el triángulo ABD (fig. 2.9) los valores desconocidos se conforman por los valores más probables de las coordenadas horizontales de los vértices A, B, D (listados con X_A, X_B, X_D, Y_A, Y_B, Y_D). Tales coordenadas se expresan como la suma de un valor inicial aproximado y las correcciones relativas a aplicar, para producir el valor final resultante más probable al usar el principio de los mínimos cuadrados.

Una vez que las mediciones angulares están compensadas, las operaciones a completar son las siguientes:

a. Formulación de una ecuación de observación por cada medición efectuada. Especialmente, imponemos la condición de que un ángulo (ej. $\boldsymbol{\alpha_2}$) tiene que ser igual a la diferencia de dos direcciones medidas en las bases AD y AB:

$$\alpha_2 = (AD) - (AB) \qquad \textbf{(2.8)}$$

De lo cual:

$$\alpha_2 - (AD) + (AB) = 0 \qquad \textbf{(2.9)}$$

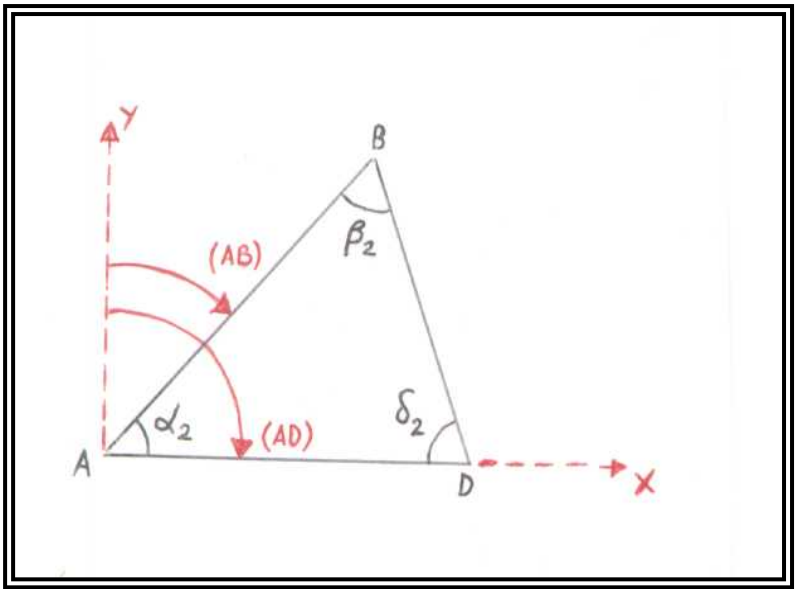


Fig. 2. 9

El sistema de ecuaciones generadoras es una tarea imposible ya que el número de ecuaciones (una por cada medida) es mayor al número de incógnitas (efecto del método de hiperdeterminación).

Las incógnitas se encuentran en las direcciones angulares medidas y se pueden expresar de la siguiente manera:

$$(AD) = arctg\,[(X_D - X_A)/(Y_D - Y_A)] \qquad \textbf{(2.10)}$$

$$(AB) = arctg\,[(X_B - X_A)/(Y_B - Y_A)] \qquad \textbf{(2.11)}$$

Desarrollándolas en series de Taylor, la función **"arctg"** de las variables $\mathbf{X_i}$ y $\mathbf{Y_i}$ **(f [X_i ,Y_i])** para un punto cuyas coordenadas $\mathbf{X_i^o}$ y $\mathbf{Y_i^o}$ representan las coordenadas aproximadas iniciales de los vértices del triángulo, los incrementos de $\mathbf{x_i}$ y $\mathbf{y_i}$ desde estos vértices constituyen la corrección a ser aplicados para conseguir los valores finales compensados (más probables).

Para los propósitos actuales, el desarrollo de los términos de las series mayores que el primer grado se consideran insignificantes y son ignorados:

$$f[X_i, Y_i] = f[X_i^0, Y_i^0] + \left|\partial f[X_i, Y_i]/\partial x\right|_{(X^0, Y^0)} x_i + \left|\partial f[X_i, Y_i]/\partial y\right|_{(X^0, Y^0)} y_i \qquad \textbf{(2.12)}$$

b. La formulación del sistema de ecuaciones generadoras, impone la existencia de un residuo de observación **(v_i)** como resultado de la presencia de inevitables errores accidentales en las medidas; une ecuación generadora del tipo:

$$\alpha_2 - (AD) + (AB) = v_i \qquad \textbf{(2.13)}$$

Este sistema resulta de ser algebraicamente indeterminado ya que el número de ecuaciones es ahora menor al número de incógnitas (habiendo introducido los residuos de observación).

c. La formulación del sistema de ecuaciones normales en las incógnitas, correcciones $\mathbf{x_i}$ y $\mathbf{y_i}$ introducidas en la expresión (2.12), resultan de imponer la condición de que la suma de los cuadrados de los residuos de observación $\mathbf{v_i}$, debe ser mínima. En este punto el sistema es algebraicamente determinable con el número de ecuaciones iguales al número de incógnitas; esto permitirá establecer el valor compensado de las coordenadas horizontales de los vértices de la triangulación.

3.2.2 Trilateración

3. 2.2.1 Principios y especificaciones

Este tipo de medición es similar al de triangulación, ya que las coordenadas de un número de vértices son calculadas al conectar estos vértices de tal manera que forman una red de triángulos de lados comunes, pero donde las medidas preponderantes son de distancias y no de ángulos.

Con el advenimiento del equipo Electrónico de Medición de Distancias (EMD) y del equipo de Medición de Distancias Electro-óptico, la trilateración tiene una amplia aplicación y puede reemplazar en su totalidad a la triangulación; sin embargo, los dos métodos coexisten normalmente dando lugar a redes mixtas.

Mientras que en la triangulación el desarrollo controlado de elementos (triángulos) se puede realizar al medir tres ángulos de cada triángulo (el control es inmediato a través de la suma de los ángulos); En la trilateración el control tiene que hacerse al examinar triángulos contiguos, después de calcular los ángulos en función de los lados medidos.

Como en la triangulación, para redes primarias, siempre es necesaria la creación de un punto de origen y de un acimut con técnicas astronómicas para el control de la orientación.

3. 2.2.2 Medidas de ángulos y distancias

En comparación con la triangulación, que puede realizarla un operador sin requerimientos para lasseñales a ser usadas, excepto cuando se usan heliótropos o cualquier sistema de iluminación, la trilateración siempre requiere la ocupación de los objetivos con prismas o cualquier otro factor de reflector. Esta desventaja se compensa con la ventaja de ser capaz de funcionar bajo condiciones de poca visibilidad, esto permite una mayor flexibilidad al fotografiar y acorta considerablemente el tiempo de trabajo.

3. 2.2.3 Computación y compensación

Al usar el método de observación indirecta, el cálculo de compensación sigue el mismo procedimiento de la triangulación. Las ecuaciones generadoras se formulan en relación a las medidas laterales y para satisfacer la condición dada, por el teorema de Pitágoras, a las coordenadas de los vértices en el extremo del lado medido.

Tomando el triángulo de la fig. 2.9, la ecuación generadora relacionada a la medida del lado AD será:

$$\left(X_D - X_A\right)^2 + \left(Y_D - Y_A\right)^2 - \overline{AD}^2 = 0 \qquad \textbf{(2.14)}$$

Como en la triangulación, al desarrollar (2. 14) en series de Taylor, alrededor de un valor aproximado de las coordenadas de los vértices de A y D ($\mathbf{X_D^\circ}$, $\mathbf{X_A^\circ}$, $\mathbf{Y_D^\circ}$, $\mathbf{Y_A^\circ}$), y al considerar sólo los primeros términos de grado del mencionado desarrollo, aparece la siguiente expresión:

$$\left(X_D^0 - X_A^0\right)^2 + 2\left(X_D^0 - X_A^0\right)\left(x_D - x_A\right) + \left(Y_D^0 - Y_A^0\right)^2 + 2\left(Y_D^0 - Y_A^0\right)\left(y_D - y_A\right) - \overline{AD}^2 = 0 \qquad \textbf{(2.15)}$$

donde los incrementos ($\mathbf{x_D - x_A}$) y ($\mathbf{y_D - y_A}$) representan las correcciones a aplicar para los valores iniciales aproximados de las coordenadas, con la finalidad de crear los valores compensados más probables.

La introducción de residuos de observación y la aplicación del principio de mínimos cuadrados permite la escritura del sistema algebraicamente determinado de ecuaciones normales en las incógnitas $\mathbf{x_i}$ y $\mathbf{y_i}$.

3.3 Método mixto

La combinación de medidas angulares, de triangulación y de distancias (trilateración) requiere cuidado debido a los diferentes pesos de los dos tipos de medidas. El peso de cada observación es inversamente proporcional a la variancia ($\boldsymbol{\mu}$) de la medida.

Entonces, al asumir un error medio cuadrático de +/- 1 en las medidas angulares (que equivale a 4,9 x 10^{-6} radianes), y una media de error relativo en distancias de 10^{-5}, el cálculo de los pesos (aplicables a $\mathbf{P_\alpha}$ y $\mathbf{P_d}$) se destaca como sigue:

$$P_\alpha \approx \left(10^{-6}\right)^2 \approx 10^{-12} \qquad \textbf{(2.16)}$$

$$P_d \approx \left(10^{-5}\right)^2 \approx 10^{-10} \qquad \textbf{(2.17)}$$

Que indican que las medidas angulares tienen un peso 25 veces menor al de las distancias.

Entonces, por ejemplo, para combinar las ecuaciones de observaciones cuyos residuos tienen la misma precisión de las medidas respectivas, que resultan de mediciones de distancias y ángulos, será necesario multiplicar términos de ecuaciones angulares por 100.

3.3.1 Poligonal

3. 3.1.1 Principios y especificaciones

Las mediciones poligonales se usan frecuentemente en topografía para elaborar mediciones más específicas en zonas muy amplias o donde la línea de visión sea oscura. Tales mediciones se realizan determinando las coordenadas de muchos puntos, conectados para formar una red poligonal. Con la excepción del primer y del último vértice, las estaciones en una poligonal tienen que ser accesibles, y generalmente se requiere que cada estación sea visible, tanto para el vértice anterior como para el siguiente, para la medición de ángulos y distancias.

Si el vértice inicial y final de una red coincide o no, una poligonal puede ser cerrada o abierta. Si las coordenadas absolutas de algunas estaciones se conocen o no, puede ser orientada o no orientada.

En los modelos topográficos antiguos, la triangulación era la única forma disponible para crear la red de puntos sobre un área amplia. Las poligonales fueron reservadas para conectar los puntos de orden menor dentro de un levantamiento detallado. Si el área era muy limitada, era medida con una red pequeña poligonales cerradas; pero si la superficie era mayor y la carta debía estar a gran escala dentro de las estaciones conocidas más cercanas, la poligonal conectaba los vértices de triangulación y se decía que estaba abierto. Hoy en día el uso de EMD o EODM permite mediciones de poligonales de muchos kilómetros de longitud y programar la medición de poligonales con mayor precisión, que pueden conectar directamente los vértices de una triangulación nacional primaria, reemplazando por completo la triangulación de orden inferior.

Un defecto importante de las poligonales reside en el incremento progresivo del error en la dirección de avance, tal error es la suma algebraica de los efectos de los errores originados en las mediciones de los ángulos y distancias desde cada marca, conocido como la propagación de los errores.

3.3.1.2 Medidas de base y ángulo

En relación a las medidas, de las cuales por lo menos una tiene que ser de distancia, la poligonal puede ser:

a. Isodeterminada: el número de medidas es igual al número de incógnitas (las coordenadas de los vértices). Si "**n**" es el número de vértices, el número de medidas estrictamente necesario es igual a (2n - 3);

b. Hiperdeterminada: número de medidas superabundantes en comparación con aquellas estrictamente necesarias, por lo tanto existe la posibilidad de tomar el control sobre los errores accidentales para compensarlos y finalmente realizar una evaluación en la precisión de los resultados obtenidos. Además, debido al número tan bajo de medidas superabundantes posibles, el grado de hiperdeterminación puede ser de tres 3 como máximo; los métodos empíricos pueden ser utilizados para ajustes de estos vértices en vez de los métodos rigurosos.

3.3.1.3 Computación y compensación

Se entiende que los ángulos horizontales en correspondencia con los vértices de una poligonal son aquellos que son producidos al hacer rotar, en sentido de las agujas del reloj, desde el lado anterior hacia el siguiente. El cálculo de los ángulos en un punto en una poligonal es por lo tanto riguroso; conociendo los ángulos de una dirección es posible calcular la diferencia entre el ángulo siguiente y el anterior, si la diferencia resulta negativa, es necesario sumar 360°.

Esto se llama "regla de transporte"; una dirección en un vértice A_i, es dado por la suma de la dirección del vértice anterior A_{i-1} y el ángulo del vértice A_i el ángulo medido entre los dos lados; si es necesario se agrega 360º o se le resta al resultado para dar la dirección de 0º a 360º.

3.3.2 Poligonal abierta no orientada (iso-determinada)

Con referencia a la figura 10, los cálculos a desarrollarse en sucesión son los siguientes:

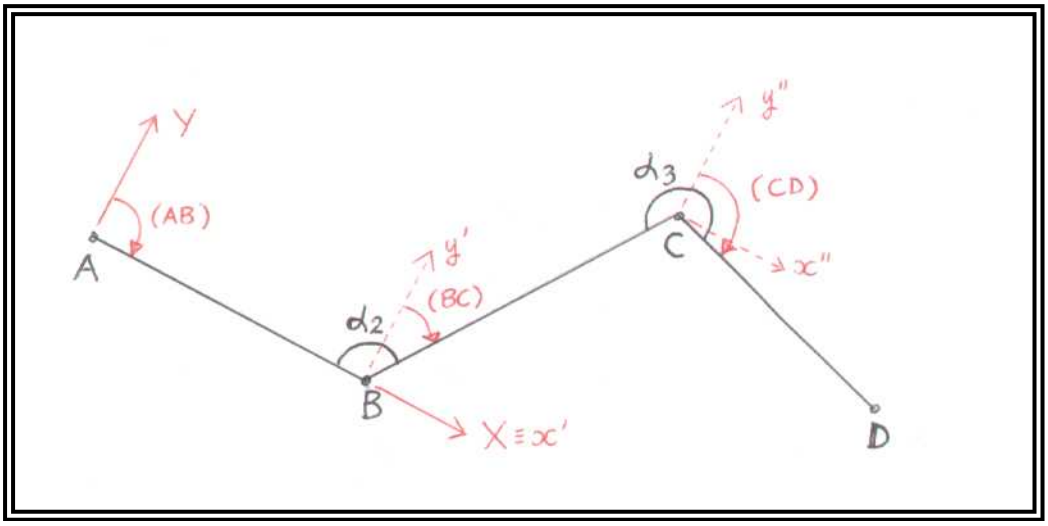


Fig. 2.10

a. Cálculo de los ángulos de dirección de los lados a través de la regla del transporte, recordando que el ángulo de la dirección inicial (AB) es obtenido del sistema de referencia local establecido (con dirección del eje *x* en el primer lado AB y el eje *y* en el ortogonal a éste). Por ejemplo el ángulo de dirección (BC) es:

$$(BC) = (AB) + \alpha_2 \pm 180° \qquad \textbf{(2.18)}$$

b. Cálculo de las coordenadas iniciales habiendo definido como sistema de referencia parcial aquellos centrados en el vértice anterior al que está siendo observado, con los ejes (denominados en la figura con x', *y'*, *x''*, *y''*) paralelos a los que inicialmente se describieron. Por ejemplo, las coordenadas del vértice C en comparación con el vértice B son:

$$x_{C(B)} = \overline{BC} \cdot \sin(BC) \qquad \textbf{(2.19)}$$

$$y_{C(B)} = \overline{BC} \cdot \cos(BC) \qquad \textbf{(2.20)}$$

c. Cálculo de las coordenadas finales en comparación con el sistema de la primera referencia local centrado en el vértice A, que tiene las coordenadas $X_A = 0$ y $Y_A = 0$. Las coordenadas finales del vértice B son:

$$\begin{aligned} X_B &= X_A + x_{B(A)} \\ Y_B &= Y_A + y_{B(A)} \end{aligned} \qquad \textbf{(2.21)}$$

y así sucesivamente para los siguientes vértices.

Es importante hacer notar que teniendo el número de medidas (ángulos α_A α_B y distancias AB, BC, CD) igual al número de incógnitas (X_B, X_C, Y_C, X_D, Y_D coordenadas finales) la estructura es isodeterminada y no es posible por lo tanto, efectuar un ajuste ni evaluar la precisión de los resultados obtenidos.

3.3.3 Poligonal abierta orientada (hiperdeterminada)

Con referencia a la fig. 2. 11, los elementos conocidos del problema son las coordenadas absolutas del primer y último vértice de la poligonal, A y D, relacionados con el sistema de referencia externo (como el Datum local nacional) y las coordenadas, siempre en relación al mismo sistema de referencia, de los puntos externos, P y Q, que sirven para desarrollar la hiperdeterminación de la estructura. Las medidas (ángulos α_A, α_B, α_C, α_D y las distancias AB, BC, CD) están más relacionadas con las incógnitas representadas por las coordenadas absolutas de los vértices intermedios (X_B, Y_B, X_C, Y_C), por cada medida adicional se formulará una ecuación de ajuste.

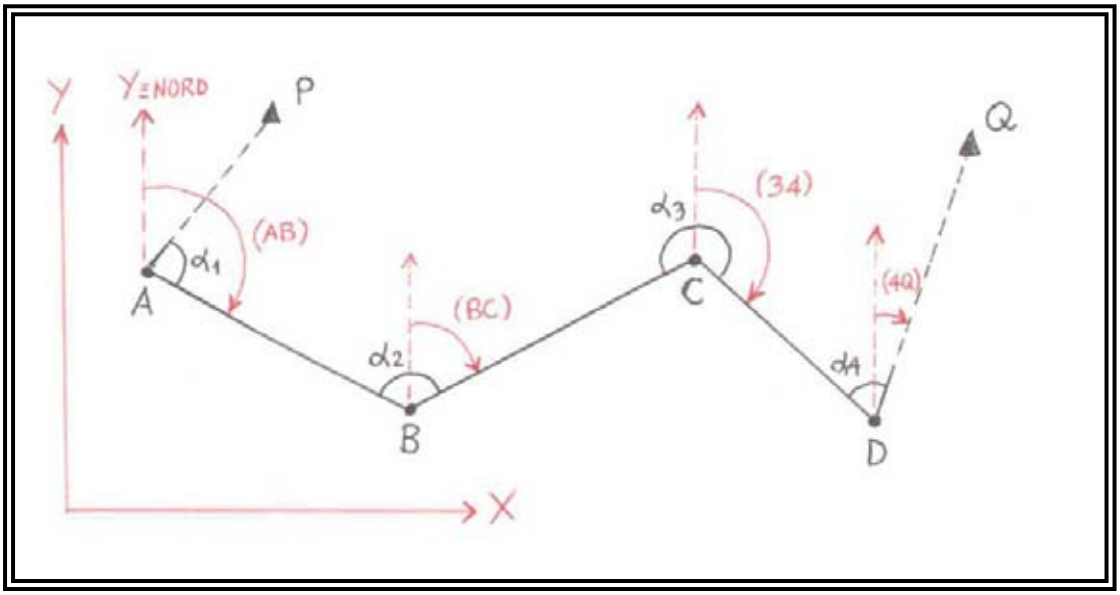


Fig. 2.11

Los cálculos a desarrollarse son los siguientes:

a. Cálculo de los ángulos de dirección, conocidos frecuentemente como acimuts, no compensados con la regla del transporte, partiendo del primer ángulo de dirección (PA) ya compensado y calculado:

$$(PA) = arctg\left[(X_A - X_P)/(Y_A - Y_P)\right] \qquad \textbf{(2.22)}$$

Por ejemplo, el ángulo de dirección no compensado de lado DQ (igual a (DQ')) es:

$$(DQ)' = (CD) + \alpha_D \pm 180° \qquad \textbf{(2.23)}$$

b. La formulación de la primera ecuación de ajuste hace uso de la posibilidad de calcular el ángulo de dirección de ajuste final (DQ):

$$(DQ) = arctg\left[(X_Q - X_D)/(Y_Q - Y_D)\right] \qquad \textbf{(2.24)}$$

La condición aplicada a este punto, es la igualdad entre el valor calculado ya compensado del (2.24) y el no compensado del (2.23). La ecuación es:

$$(DQ)' - (DQ) = 0 \qquad \textbf{(2.25)}$$

Con la presencia inevitable de los errores accidentales en las medidas de los ángulos $\boldsymbol{\alpha_A}$, $\boldsymbol{\alpha_B}$, $\boldsymbol{\alpha_C}$, $\boldsymbol{\alpha_D}$, que están presentes en el cálculo de (DQ)', (2. 25) nunca será satisfecho debido a la presencia de residuos llamados "error de cierre" y señalando como $\boldsymbol{\Delta\alpha}$. El (2.25) entonces se convierte en:

$$(DQ)' - (DQ) = \Delta\alpha \qquad \textbf{(2.26)}$$

Recordando que el $\boldsymbol{\Delta\alpha}$ tiene que ser más pequeña que una tolerancia angular establecida en el proyecto.

c. Cálculo de los ángulos de dirección compensados:

$$\begin{aligned}(AB) &= (AB)' - u\alpha \\ (BC) &= (BC)' - 2u\alpha \\ (CD) &= (CD)' - 3u\alpha \\ (DQ) &= (DQ)' - 4u\alpha\end{aligned} \qquad \textbf{(2.27)}$$

Da $\boldsymbol{u\alpha}$, donde **u** representa "el error de cierre unitario " igual a la relación entre el error de cierre angular y al número de ángulos no compensados en los cuales se comparte.

d. Cálculo de las coordenadas parciales no compensadas, habiendo definido los sistemas de referencia parcial centrado en los vértices y con ejes paralelos a aquellos del sistema absoluto de partida. Por ejemplo las coordenadas parciales no compensadas del vértice B en relación con A son:

$$\begin{aligned}x_{B(A)} &= \overline{AB}'\,\mathrm{sen}(AB) \\ y_{B(A)} &= \overline{AB}'\cos(AB)\end{aligned} \qquad \textbf{(2.28)}$$

e. La formulación de la segunda y tercera ecuación al aplicar la condición de que la suma de todas las coordenadas parciales es igual a la diferencia entre las coordenadas absolutas del último y del primer vértice. Hay dos ecuaciones porque una se refiere a las abscisas y la otra a las ordenadas:

$$\sum x' - (X_D - X_A) = 0$$
$$\sum y' - (Y_D - Y_A) = 0 \qquad \textbf{(2.29)}$$

Como en el caso de los ángulos, las ecuaciones nunca se satisfacerán debido a los residuales, que se denominan "error de cierre lineal en abscisas" y "error de cierre lineal en ordenadas", y son iguales a:

$$\Delta x = \sum x' - (X_D - X_A)$$
$$\Delta y = \sum y' - (Y_D - Y_A) \qquad \textbf{(2.30)}$$

Definiendo **ΔL** como:

$$\Delta L = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \qquad \textbf{(2.31)}$$

Δx y **Δy** tienen que ser tales que **ΔL** no sea más grande que la tolerancia lineal establecida.

f. Cálculo de las coordenadas compensadas parciales:

$$x_{2(1)} = x'_{2(1)} - u_x \qquad y_{2(1)} = y'_{2(1)} - u_y$$
$$x_{3(2)} = x'_{3(2)} - u_x \qquad y_{3(2)} = y'_{3(2)} - u_y \qquad \textbf{(2.32)}$$
$$x_{4(3)} = x'_{4(3)} - u_x \qquad y_{4(3)} = y'_{4(3)} - u_y$$

Donde $\mathbf{u_x}$ y $\mathbf{u_y}$ representan los valores del error unitario de cierre lineal y son iguales a la relación entre el error de cierre lineal, relativo a las abscisas y a las ordenadas y al número de coordenadas no compensadas parciales en las que se comparte de manera uniforme.

g. Cálculo de las coordenadas totales (absolutas) de los vértices intermediarios incógnitos (B y C) partiendo de los valores conocidos del punto inicial A y sumando los valores de las siguientes coordenadas parciales:

$$X_B = X_A + x_{B(A)} \qquad Y_B = Y_A + y_{B(A)}$$
$$X_C = X_B + y_{C(B)} \qquad Y_C = Y_B + y_{C(B)} \qquad \textbf{(2.33)}$$

3.3.4 Poligonal cerrada no orientada

Con referencia a la fig. 2. 12, los elementos conocidos del problema están representados por las coordenadas del vértice "A", con el cual el origen del sistema Cartesiano ha sido establecido con el eje X en dirección al primer lado medido AB, y desde las ordenadas, igual a 0 en el mismo sistema local Cartesiano, en el segundo vértice "B". Los diez elementos medidos son todos los ángulos internos y todos los lados del polígono, mientras las siete incógnitas (X_B, X_C, X_D, X_E,Y_C,Y_D,Y_E) establecen una hiperdeterminación de orden máximo posible 3.

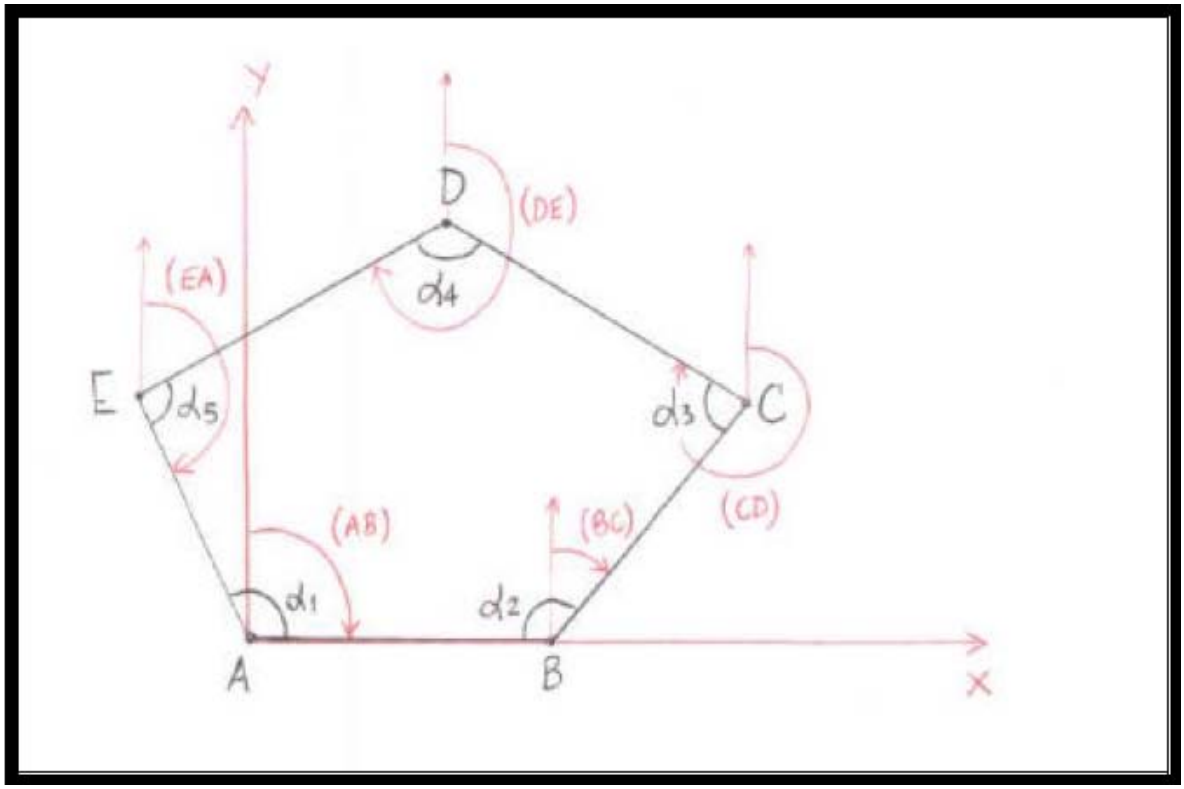


Fig. 2.12

El cálculo contiene las siguientes fases:

a. Control y compensación angular, imponiendo que la suma de los ángulos no compensados medidos es igual a la suma de los ángulos internos de un polígono con "**n**" lados ((n-2)180°). Debido a los inevitables errores accidentales, se generan las siguientes observaciónes residuales (error angular de cierre **Δα**):

$$\Delta\alpha = \sum \alpha' - (n-2)\cdot 180° \qquad \textbf{(2.34)}$$

Tal resultado es menor que una tolerancia fija. El error de cierre unitario "**uα**" (igual al error de cierre dividido entre el número de ángulos medidos) debe ser uniformemente repartido en todos los ángulos medidos.

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \alpha_1' - \mathrm{u}\alpha \\ \alpha_2 &= \alpha_2' - \mathrm{u}\alpha \end{aligned} \qquad \textbf{(2.35)}$$

y así sucesivamente. Los ángulos obtenidos ahora están compensados

b. Cálculos de dirección de los ángulos (en comparación al sistema local de ejes de dirección *y*) usando la regla del transporte.

c. Cálculo de las coordenadas parciales no compensadas con (2. 19) y (2.20).

d. Control y compensación lateral, teniendo en cuenta que la suma de todas las abscisas parciales es cero (lo mismo que para las ordenadas). Tomando en cuenta en el cálculo las coordenadas parciales no compensadas, esta condición no será satisfactoria resultando en los residuos **Δx** y **Δy** (errores laterales de cierre). Se define la cantidad **ΔL** como:

$$\Delta L = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \qquad \textbf{(2.36)}$$

Δx y **Δy** tienen que ser tales que **ΔL** no supere la tolerancia lineal establecida. El error unitario de cierre que se comparte en las abscisas parciales no compensadas $\mathbf{u_x}$; es igual a la relación entre el error lateral de cierre de las abscisas y el número de coordenadas a calcular. Mientras que el error unitario relacionado a las ordenadas $\mathbf{u_y}$ se debe calcular dividiendo el número de coordenadas calculadas menos 1. Esto es debido a que las coordenadas del vértice B, en comparación al origen en A ($\mathbf{y_{B(A)}}$), no están compensadas (fijas en 0 por selección de eje), con la finalidad de no cambiar el sistema de orientación Cartesiano. Ahora, es posible proceder con la compensación de las coordenadas parciales, sustrayendo $\mathbf{u_x}$ y $\mathbf{u_y}$ de los valores de las abscisas y de las ordenadas no compensadas como se detalla en la (2. 32), con la única excepción para el valor $\mathbf{y_{B(A)}}$, que se fija en 0 como se dijo anteriormente.

e. Cálculo de las coordenadas totales con (2.21).

3.4 Método fotogramétrico (ver también el capítulo 6)

La fotogrametría es una técnica amplia de medición topográfica de la tierra o de los objetos, a través del uso de fotografías tomadas desde puntos de vista.

La fotogrametría Convencional se divide usualmente en dos categorías

a. Fotogrametría terrestre, en el cual las fotos se toman desde diferentes puntos de la tierra;
b. Fotogrametría aérea, en la cual las fotos se toman desde aviones.

Tal distinción no tiene relación con los procedimientos de restitución, que son en principio los mismos, sino con los métodos o procedimientos utilizados para obtener la toma.

Para poder garantizar la restitución topográfica del objeto fotografiado es necesario tener al menos dos imágenes del punto de interés tomadas desde dos diferentes posiciones. Si la posición de las cámaras se conoce, se pueden determinar las coordenadas espaciales de los puntos de interés en las dos fotografías simultáneamente desde las dos líneas rectas que interceptan las imágenes con los centros ópticos relativos. Este es el principio fundamental de la fotogrametría, común a todas las técnicas de medición fotogramétrica.

En el proceso de medición de fotogramétrica existen tres cantidades, relacionadas entre ellas de diferente manera en diversos momentos de la medición. Ellas son:

a. Las coordenadas tridimensionales (X,Y,Z) de los objetos fotografiados.

b. Las coordenadas horizontales (x,y) de las imágenes de los objetos fotografiados en el plano de la película;

c. Todos los parámetros de orientación, necesarios para establecer la posición de la cámara durante la toma.

En el momento de la toma se asignan dos grupos de cantidades, aunque puede que no se conozcan numéricamente en ese momento: las coordenadas de los objetos fotografiados y los parámetros de orientación, ej. La posición y las características ópticas de la cámara. Conociendo las coordenadas espaciales reales y las coordenadas horizontales en la película de algunos de los puntos conocidos, se pueden calcular los parámetros de la orientación. Finalmente en la fase de restitución, con los parámetros de orientación calculados, es posible determinar las coordenadas espaciales de todos los puntos observados usando las coordenadas horizontales en los fotogramas.

Una de las aplicaciones más importantes de la fotogrametría es la producción cartográfica, a escalas variables de 1:500 a 1:50.000.

3.4.1 Aerofotogrametría

Casi todas las cartas de navegación se realizan a través de la fotogrametría aérea. Gracias a esta técnica es posible realizar cartas topográficas de amplias áreas en tiempos relativamente cortos, en vez de los muchos años que se requieren con las técnicas tradicionales.

Las fotos aéreas se pueden realizar de diferentes maneras, dependiendo del tipo de carta a realizarse y a la clase de cámara que se utilice. La fotogrametría aérea generalmente emplea cámaras con fotografía nadiral (también llamada vertical), el eje óptico coincide con el eje vertical. Esto proporciona la ventaja de producir fotogramas con una escala constante si la tierra es plana así como de permitir la observación estereoscópica de los fotogramas.

Aunque se haga una ampliación, los fotogramas aéreos no pueden usarse como cartas de territorio fotografiado. La foto aérea es una perspectiva central, mientras que los mapas se obtienen con una proyección ortogonal de la zona de la superficie en referencia. Debido a esta diferencia, un segmento vertical, que se representaría con un punto en el mapa, es representado con un segmento en la foto.

Otra diferencia entre la fotografía y la representación cartográfica se debe al hecho de que en el fotograma el factor escala se define sólo en el caso de que el objeto esté perfectamente horizontal y el eje de la cámara estrictamente vertical. Si en el área observada hay diferencia de altura, la escala del fotograma variará de punto en punto y sólo se podrá definir una escala promedio; la selección de la escala promedio determinará la altitud del vuelo.

Para garantizar el principio fundamental de fotogrametría, cada punto del área a medir debe tomarse en fotos separadas, por lo que, los dos fotogramas adyacentes resultarán en un solapamiento del 50% de su longitud. Para evitar el riesgo de que algunas áreas no tengan este solapamiento debido a las variaciones de la velocidad aeronáutica, se adopta una superposición del 60% al 70%. La sucesión de fotogramas en sentido longitudinal se denomina tira continua. Generalmente, es necesario realizar varias tiras continuas, luego ubicarlas transversalmente una sobre otra, para lograr un solapamiento de entre el 15% al 30% del ancho del fotograma, para compensar los inevitables movimientos por deriva del avión.

3.4.1.1 Restitución fotogramétrica

Después de realizar la medición, los dos fotogramas resultantes representan, desde dos puntos de vista, una proyección perspectiva del objeto. Las parejas de fotogramas se utilizan para la restitución total de los objetos medidos, con equipos complejos (instrumentos de trazado estereoscópico) o por medio de un estereoscopio simple, que permite la observación simultánea de los objetos por vía de su habilidad óptica binocular lo que permite que cada ojo pueda ver sólo una foto.

Con la fotogrametría estereoscópica la medición no se realiza en el plano, como con los métodos tradicionales que tomaban las medidas de la realidad, sino desde un modelo estereoscópico (o estereo modelo) observable a través de un par de fotografías, que dimensionalmente lo reconstruyen en una escala apropiada. Con los métodos tradicionales, se mide un número de puntos limitados, mientras que con la fotogrametría se mide la totalidad del objeto y subsecuentemente las coordenadas de los puntos de interés pueden se determinadas.

3.4.1.2 Restitución analógica

En la restitución analógica, el modelo de tierra se construye de manera óptico-mecánica, desde el cual se puede dibujar la observación en el papel.

Para poder proceder con la restitución es necesario saber, con gran precisión, los parámetros de la orientación interior (u orientación interna):

a. La longitud focal calibrada del lente objetivo de la cámara.

b. Las coordenadas en el fotograma del punto principal calibrado, que representa la base de la perpendicular desde el centro de perspectiva interior al plano de la fotografía (punto nodal del objetivo). Estas coordenadas se calculan en el interior del sistema de referencia del fotograma, definido por la intersección de las parejas de marca de índice impresas en los puntos medios de los lados del fotograma.

El procedimiento de la restitución analógica consiste en reconstruir las circunstancias de los dos fotogramas durante la toma con una similitud geométrica entre las dos configuraciones. Los fotogramas se instalan en dos proyectores que deben colocarse de manera tal que muestren una orientación interior igual a la de la cámara aérea de tira continua. Luego los parámetros de la orientación exterior (u orientación externa) deben ser determinados, esto permite conocer con exactitud la posición espacial de las parejas de fotogramas y el modelo de tierra o el objeto fotografiado puede ser recreado. La orientación exterior se divide en:

a. Relativa: define la posición del segundo fotograma en relación al primero. Seis parámetros son necesarios, ej. Las tres coordenadas relativas del segundo punto nodal en relación a las del primero y desde las rotaciones. El cálculo de estos parámetros produce seis pares de puntos homólogos, y simultáneamente elimina manualmente el paralelaje transversal de cada uno de ellos. Des esta manera, se define un modelo estereoscópico, desde el cual no se puede tomar una información métrica, porque su orientación absoluta y su escala no se conocen.

b. Absoluta: define la posición espacial del primer fotograma con referencia a un sistema fijo de la tierra a través de puntos conocidos. Seis parámetros más son necesarios porque en el espacio un cuerpo tiene seis grados de libertad. Generalmente estos seis parámetros son las coordenadas espaciales de punto nodal x_V, y_V, z_V, y las tres rotaciones φ_x, φ_y, τ, alrededor de los tres ejes cartesianos que pasan por el punto principal. (Fig. 2. 13).

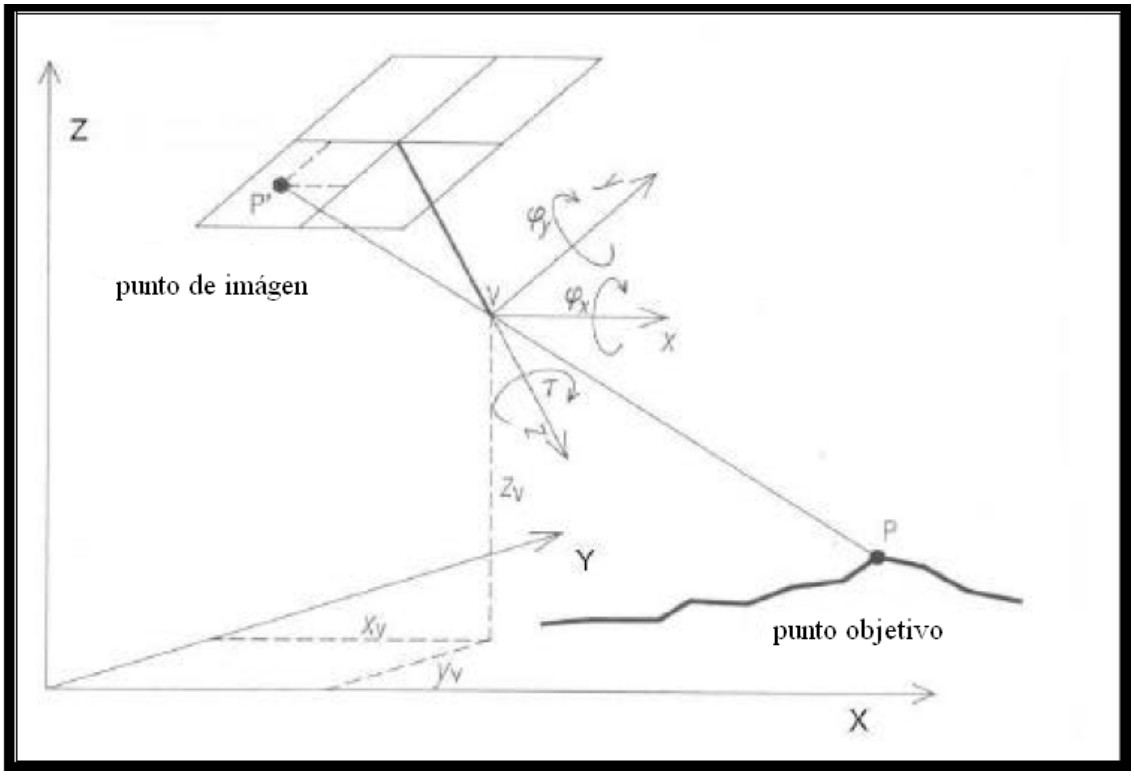


Fig. 2.13 "Doce parámetros de determinación para una restitución analógica"

La determinación de los doce parámetros de la orientación exterior permite el regreso a la posición espacial los dos fotogramas durante la toma.

Normalmente el número mínimo de puntos de control en tierra es cinco, cuatro de estos (conocidos en las tres coordenadas) son distribuidos en los límites del modelo y el quinto es de control vertical, del que sólo se conoce su altura, se posesiona cerca del centro del modelo. De esta forma el problema será hiperdeterminado; existirán algunas variancias residuales de observación, denominadas variancias residuales de orientación, que permiten verificar la precisión de la medición fotogramétrica.

Las diferencias en los puntos de control, entre los valores de las coordenadas de tierra y las coordenadas del modelo, no deben ser mayores a ciertos límites.

3.4.1.3 La restitución analítica

Se han desarrollado técnicas de restitución fotogramétrica numérica con el desarrollo del cálculo numérico automatizado; estos métodos emplean el poder de las computadoras modernas para llevar a cabo la compilación fotogramétrica.

3.4.1.4 Fotogrametría digital

La fotogrametría tradicional, es decir la estereoscópica o estereofotogramétrica, se puede lograr por los métodos analógico o analítico. En la práctica, la restitución en la fotogrametría analógica se logra por medio del sistema óptico; las coordenadas de los puntos observados en la fotogrametría analítica se determinan matemáticamente.

La fotografía digital no sólo explota las calculadoras electrónicas en la fase final, como se hace en la restitución analítica, sino también en el tratamiento de imágenes, que se graban de forma digital.

También se pueden emplear fotografías tradicionales, modificándolas inicialmente con el equipo que transforma las imágenes en señales digitales, como un escáner.

La adopción de las imágenes satelitales permite la automatización de muchas operaciones, que deben ser desempeñadas por el operador como en la definición de la orientación interior y exterior en la fotogrametría analítica.

3.4.1.5 Aerotriangulación (triangulación aérea)

En el proceso de medición fotogramétrica, la determinación de coordenadas de los puntos de control de tierra es generalmente la fase que requiere mayor empleo de tiempo, por lo menos 5 puntos para cada modelo, para cada pareja. Para reducir el número requerido, las coordenadas de algunos pueden ser también obtenidas por métodos fotogramétricos, a través de la triangulación aérea.

La determinación de las coordenadas de los puntos de control a través de la triangulación aérea puede ser efectuada con el método de modelos independientes. Éste consiste en construir independientemente la orientación relativa de cada modelo a partir de los otros; los modelos se conectan a través de algunos puntos, conocidos como puntos de relación, comunes a los dos modelos (los puntos comunes a los tres fotogramas que los han producido) y se colocan en las áreas marginales de los mismos modelos. Al final se obtiene un solo bloque de modelos, de longitud y amplitud igual a la de los modelos conectados entre ellos. Teóricamente deberían ser sólo cinco puntos de control del primer modelo; en la práctica existen puntos de control esenciales desplazados hacia los cuatro límites y a lo largo del perímetro del bloque de modelos y algunos puntos altimétricos dentro del bloque.

Sin embargo, esta técnica ha sido reemplazada con el uso del sistema de posicionamiento global GPS, que permite la determinación directa de las coordenadas de los puntos de control de tierra, y al mismo tiempo, ofrece la posibilidad de instalar de forma directa los receptores GPS en los aviones.

Las coordenadas de los puntos medidos durante la toma de fotografías a través de los receptores de GPS, usando técnicas diferenciales con un receptor fijo a tierra, pueden ser utilizadas durante la triangulación aérea como dato adicional, adoptando el método de modelos independientes.

3.5 Íntervisibilidad de las estaciones geodésicas

3.5.1 La ínter visibilidad entre dos puntos debe ser SIEMPRE chequeada en el campo durante el reconocimiento. Sin embargo, muchas de las líneas propuestas se pueden verificar en el estudio inicial de oficina, al trazar perfiles a partir de una carta. Se permite dejar al menos 5mts., preferiblemente 10mts, de espacio en todos los rayos “grazing” teniendo particular cuidado donde las construcciones se muestran cerca del final de las líneas.

3.5.2 Para líneas largas, la curvatura de la tierra debe ser tomada en cuenta cuando se investiga la ínter visibilidad. La fórmula en el párrafo 3.5.3 debe ser aplicada.

3.5.3 En la Fig. 2. 14, dos vértices ‘A’ y ‘B’ de alturas ‘HA’ y ‘HB’ están a una distancia de separación ‘D’. la línea de vista ‘AB’ será tangencial a la esfera concéntrica a la tierra con una altura ‘y’ y una distancia ‘x’ desde ‘A’. El problema es determinar qué altura de la colina ‘h’, distancia ‘dA’ desde ‘A’, obstruirá la línea de vista.

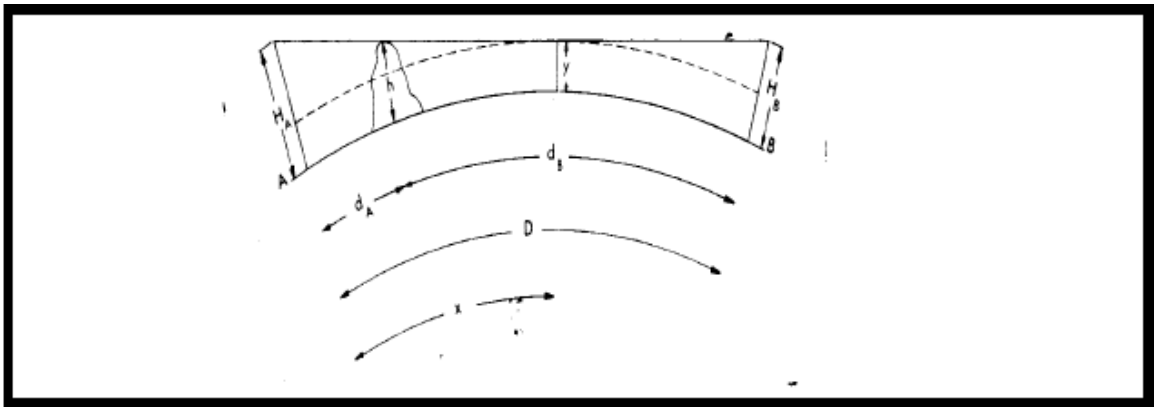


Fig. 2.14 ‘‘Intervisibilidad de la estación geodésica’’

La altura de un objeto con distancia ‘s’, que aparece en el horizonte a un observador con el ojo a nivel del mar, es:

Ks^2, donde $K = \frac{\frac{1}{2} - k}{r}$ y k = al coeficiente de refracción y r = al radio de la tierra.

Entonces,

$$H_A - y = Kx^2$$
$$H_B - y = K(D - x)^2$$
De Donde **(2.37)**
$$x = \frac{D}{2} - \left(\frac{H_B - H_A}{2KD}\right) \quad y \quad y = H_A - Kx^2$$

$$h = y + K(d_A - x)^2$$
$$\text{Por lo que,} \quad h = \frac{d_A H_B}{D} + \frac{d_B H_A}{D} - K d_A d_B \qquad \textbf{(2.38)}$$

Usando esta fórmula se pueden resolver todos los problemas de ínter visibilidad. Se debe tener cuidado al usar las unidades de medida correctas.

Cuando las alturas están en metros y las distancias en kilómetros, K = 0.0675

Demostración de la fórmula:

$$h = y + K(d_A - x)^2 \qquad \textbf{(2.39)}$$
$$= H_A - Kx^2 + Kd_A{}^2 - 2Kd_A x + Kx^2$$

$$= H_A + Kd_A{}^2 - 2Kd_A\frac{D}{2} + \frac{2Kd_AH_B}{2KD} - \frac{2Kd_A H_A}{2KD}$$

$$= H_A + Kd_A{}^2 - \left(Kd_Ad_A + Kd_Ad_B\right) + \frac{d_AH_B - d_AH_A}{D}$$

$$= \left(\frac{d_AH_A + d_BH_A}{D}\right) + \left(\frac{d_AH_B - d_AH_A}{D}\right) - Kd_Ad_B$$

$$= \frac{d_BH_A}{D} + \frac{d_AH_B}{D} - Kd_Ad_B \qquad \textbf{(2.40)}$$

4. MÉTODOS DE CONTROL VERTICAL

4.1 Nivelación geométrica

4.1.1 Principios y especificaciones

Las nivelaciones son operaciones que permiten medir la diferencia de las alturas ortométricas (o elevaciones del Geoide) entre puntos o su diferencia en elevación.

El principio de la nivelación geométrica es: consideramos dos puntos (A y B) están a una corta distancia, no más de alrededor de 100 metros (Fig. 2. 15); se fijan en ellos dos estadías verticales y en el punto M, equidistante de A y de B, un instrumento que tenga su eje de colimación horizontal, o más bien (para alturas leves) paralelo, al plano tangente en M_0 al Geoide. Se toman dos rondas de lecturas desde la estadía l_A y la l_B. La siguiente expresión puede ser inmediatamente concluida de la figura, con la premisa de que el Geoide coincida, para la consideración inicial simplificada, con la esfera local en M_0:

$$Q_A + l_A = Q_B + l_B \qquad \textbf{(2.41)}$$

De lo que:

$$Q_B - Q_A = l_A - l_B \qquad \textbf{(2.42)}$$

Donde:

Q_A = altura ortométrica (o Elevación) en A
Q_B = altura ortométrica (o Elevación) en B

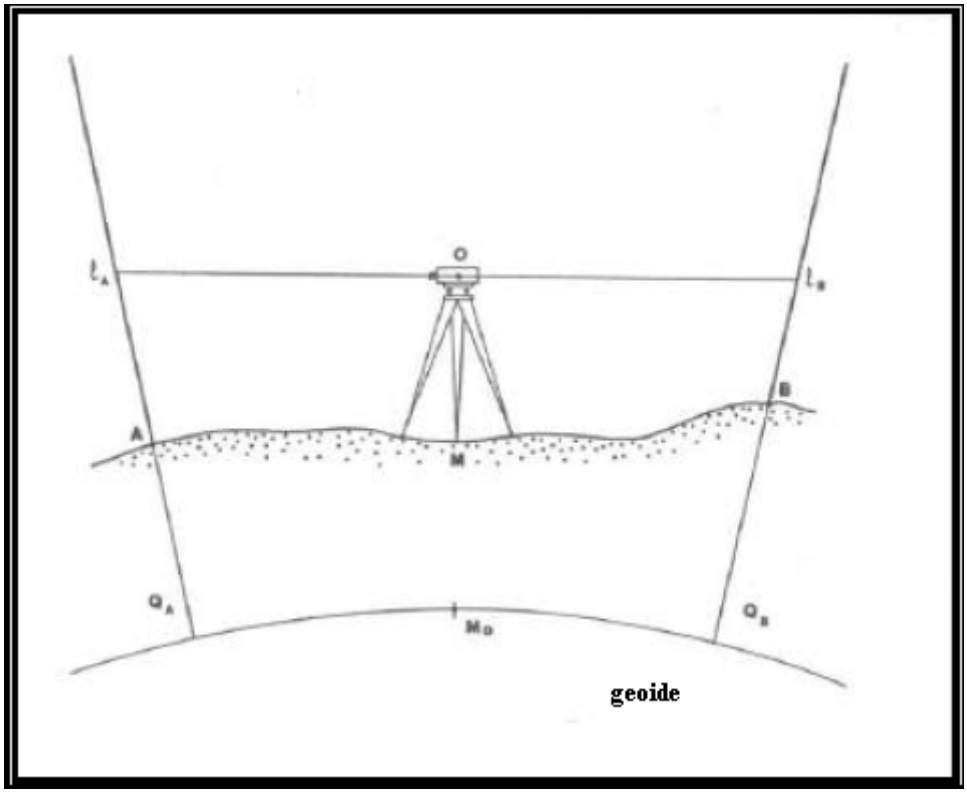


Fig. 2.15 "Nivelación geométrica"

Debido a que la longitud de la observación es tal que para hacer que la influencia de la curvatura terrestre sea despreciable, el instrumento que produce el eje de colimación puede colocarse en alguna posición intermedia entre A y B para reducir la influencia de la refracción atmosférica.

Cuando la meta es determinar una diferencia en los niveles entre puntos, a una distancia en la que es imposible hacer una conexión directamente entre ellos, es necesario tomar una nivelación compuesta. La distancia desde el extremo inicial (A) hasta el extremo final (B) de la línea de nivelación, se divide en un número de líneas no mayores de 100 metros con las estadías colocadas en los puntos de división.

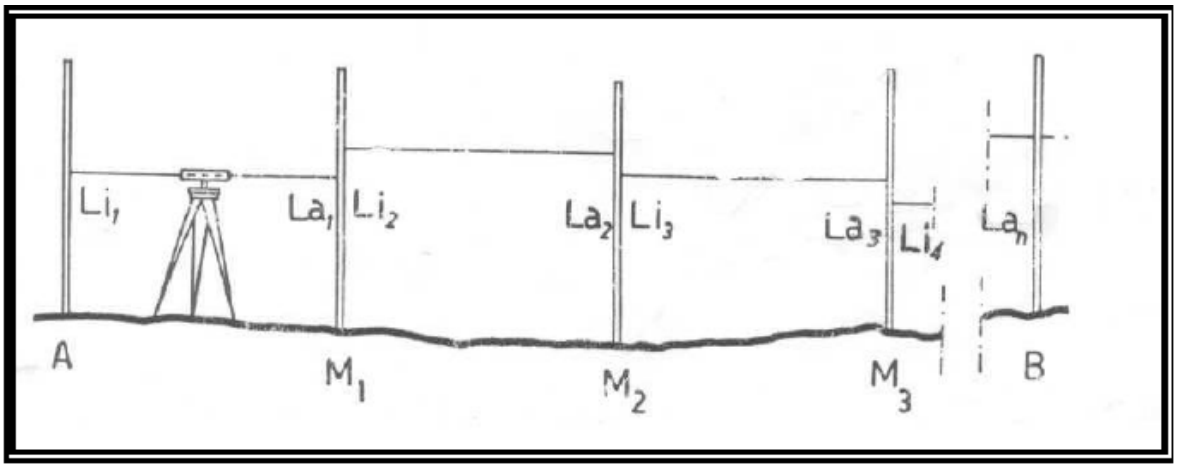


Fig. 2.16 "Desniveles a lo largo de varios puntos"

Partiendo de A, la diferencia entre M_1 y A se determina de la manera ya citada. Entonces el instrumento se traslada entre M_1 y M_2, y la diferencia de nivel ($l_{i2} - l_{a2}$) se determina entre estos puntos (después de haber girado la estadía en M_1 sobre ella misma y haberla trasladado desde A hasta M_2); este proceso se repite hasta el punto final. La diferencia total de elevación será:

$$Q_B - Q_A = \sum_n \left(l_{in} - l_{an} \right) \qquad \textbf{(2.43)}$$

4.1.2 Medidas y control de calidad

Un control efectivo de las medidas consiste en hacer una nivelación en ambas direcciones, pero regresando por una ruta diferente de largo comparable. La variación entre los valores de desnivel entre los puntos iniciales y finales debe estar dentro de las tolerancias establecidas en relación con la exactitud deseada. El valor a ser utilizado es el promedio entre las dos medidas.

Durante la operación es bueno efectuar un control del centrado de la burbuja (burbuja o burbuja sensitiva) del instrumento de nivelación (nivel), antes de cada observación efectuada sobre la estadía.

Algunos instrumentos de nivelación están también equipados con un nivel esférico (o universal u "ojo de buey") y los modernos están equipados con uno dispositivo de horizontalización automática.

4.1.3 Fuentes de error

Apartando la posible inclinación de la línea de vista, los errores accidentales de cada observación pueden separarse en dos partes:

a. Error de colimación (o de lectura de la estadía): proporcional a la raíz cuadrada de la distancia de colimación.

b. Error de puntería (o de lectura de los niveles en los instrumentos automáticos es reemplazado por el estado de corrección del compensador): proporcional a la misma distancia.

El error promedio de la nivelación completa debe ser considerado, suponiendo que el error promedio de cada observación simple es constante e igual a σ. Ya que la diferencia total de nivel es igual a la suma de las diferencias parciales de elevaciones, posteriormente determinadas, el error promedio σ_t de la nivelación completa es:

$$\sigma_t^{\,2} = \sigma_1^{\,2} + \sigma_2^{\,2} + \sigma_3^{\,2} + ... + \sigma_n^{\,2} = n\sigma^2 \qquad \textbf{(2.44)}$$

de lo que :

$$\sigma_t = \sigma\sqrt{n} \qquad \textbf{(2.45)}$$

4.1.4 Cálculo y compensación

Como en otras hiperdeterminaciones, las nivelaciones geométricas pueden ser empíricamente compensadas o a través de un método riguroso, aplicando la teoría de los mínimos cuadrados.

Una compensación elemental de la línea de nivelación consiste en asumir el promedio entre las medidas tomadas en ambas direcciones.

Una compensación empírica es aplicada en nivelaciones de precisión limitada, que se realizan sin la repetición de las medidas, pero con cierre en el punto conocido de salida (polígono cerrado) o con dos elevaciones conocidas; en este caso el error de cierre se distribuye empíricamente entre los desniveles.

Admitiendo que el error de cierre es proporcional a la distancia sobre la que la nivelación es hecha es simplemente un caso de dividir el error de cierre entre el total de la distancia nivelada para obtener un error por metro de nivelación. Luego cada punto intermedio es corregido por el error por Km. de la nivelación multiplicando por el largo del nivel observado a ese punto.

La compensación es más complicada cuando las líneas de nivelación conforman una red; en este caso es necesario utilizar una rigurosa compensación de la red, preferiblemente con el método de las observaciones indirectas. La cantidades desconocidas del problema, resueltas con el método mencionado, son las correcciones que se otorgan a los valores aproximados de elevación de los puntos sencillos de la red, para obtener en consecuencia los valores más probables para la estructura.

Las ecuaciones de observación imponen la condición de que la diferencia entre la diferencia de elevación medida y en consecuencia aquella de la aproximación a la red, tiende a ser cero

Debido a la presencia de los errores residuales accidentales en las medidas de los desniveles, estas ecuaciones no serán satisfechas normalmente, para el segundo miembro éstas resaltarán los residuos de compensación. Las ecuaciones en esta forma se llaman ecuaciones generadas.

Siendo diferentes las distancias entre los puntos datum verticales, es necesario considerar los pesos que se asignan a las diversas medidas de elevación; los pesos se hacen iguales al inverso de la suma de las distancias.

Para reducir las observaciones de precisión diferente al mismo peso (importancia) es necesario multiplicar las ecuaciones por la raíz cuadrada del peso. Ahora tenemos un grupo de ecuaciones igual en número a las observaciones hechas. Para obtener los valores de las incógnitas más probables (en este caso de correcciones para los valores iniciales de las elevaciones) es necesario reducir las ecuaciones de observación a ecuaciones normales usando el principio de mínimos cuadrados.

La solución subsiguiente de las ecuaciones normales producirá los valores únicos y matemáticamente más probables para corregir las elevaciones provisionales.

El conocimiento del error promedio de la unidad de peso, es igual a:

$$m_0 = \pm\sqrt{\sum_i p_i v_i^2} \Big/ (n-i) \qquad \textbf{(2.46)}$$

Donde

- p_i: pesos de las mediciones proporcionales a la inversa de la distancia;
- v_i: errores residuales accidentales en las medidas de la diferencia de elevaciones;
- n: número de ecuaciones generadas;
- i: número de incógnitas;

Es suficiente considerar la confiabilidad del trabajo, en términos a que tanto se asume como peso unitario 1/1km. Si los términos conocidos con los residuos consecuentes de compensación están expresados en milímetros, m_0 representa el error promedio en milímetros por kilómetro; de esta forma la tolerancia es normalmente expresada en la nivelación geométrica (recordando que la tolerancia o el error máximo admitido se considera igual a tres veces el promedio del error cuadrático).

4.2 Nivelación trigonométrica

4.2.1 Principios y especificaciones

La nivelación trigonométrica está basada en el uso del teodolito para las medidas de ángulos zenitales. Es empleada para cualquier distancia, es desde algunos metros hasta llegar a por encima de los 10 Km.; Es usualmente utilizada para la determinación de la elevaciones de posiciones en la triangulación, también es aplicada en otros casos, como cuando se conoce la distancia entre los puntos cuya diferencia de elevación se busca.

En cada caso para las distancias inferiores o alrededor de 400 metros, el uso de una superficie plana de referencia implica errores despreciables y los resultados en los cálculos simplificados con los errores promedio en el orden de los 5 cms.

La nivelación en este caso se llama “eclimétrica” y la diferencia de elevación entre los dos puntos A y B (Δ_{AB}) se determina por:

$$\Delta_{AB} = d \cdot \cot\varphi_A + h - l \qquad \textbf{(2.47)}$$

donde:

- d: es la distancia horizontal entre A y B (en la superficie plana de referencia);
- φ_A: es el ángulo zenital de B medida por el teodolito situado en A.;
- h: es la altura del teodolito relativa al suelo;
- l: es la altura del objetivo en B relacionada al suelo como se midió desde el teodolito .

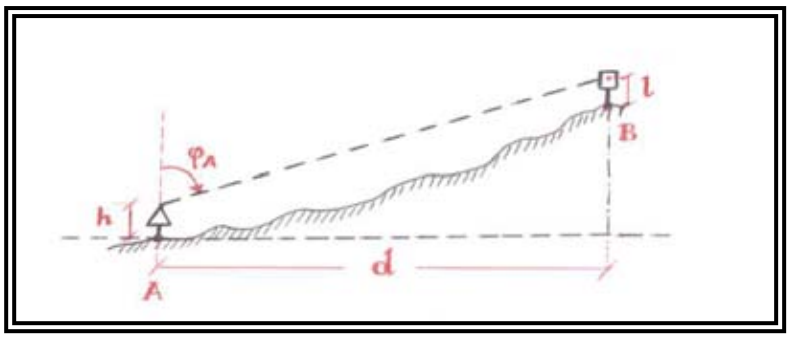


Fig. 2.17 “Nivelación trigonométrica”

La aproximación de la superficie plana de referencia no es aceptable para distancias superiores a 400 metros. Entonces se pueden considerar tres correcciones fundamentales, partiendo del cálculo de la nivelación “eclimétrica” :

a. Esfericidad
b Refracción
c. Altura

Tomado estos factores, el procedimiento para calcular la diferencia de elevación se llama nivelación trigonométrica. Ya que la distancia entre dos puntos, entre los que la diferencia de elevación está siendo determinada, nunca sobrepasa los 20 Km. y, normalmente es inferior, los cálculos pueden ser siempre ejecutados en la esfera local.

4.2.2 Corrección por esfericidad

Esta corrección toma en cuenta la inclinación de la esfera local según el plano adoptado para la nivelación "eclimétrica", suponiendo que la divergencia insignificante entre las normales (al plano y a la esfera en el punto en el cual se fija la estadía) a lo largo de la cual se obtiene la diferencia de la elevación.

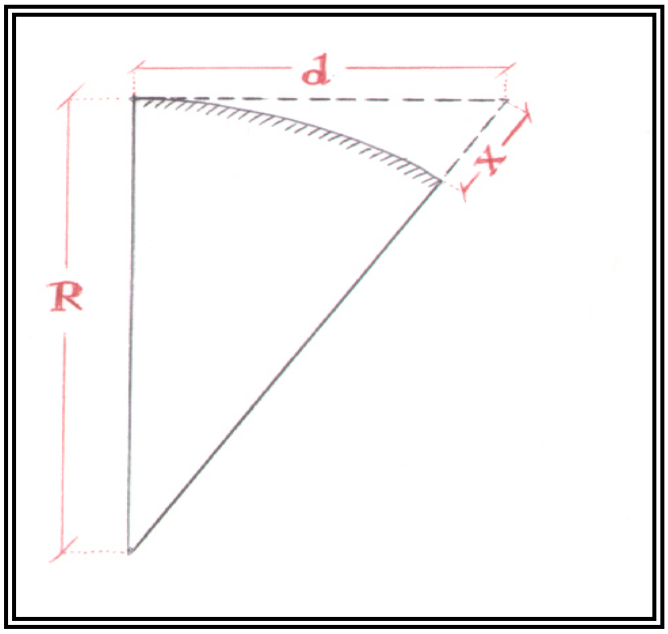


Fig. 2.18 "Corrección de esfericidad"

Donde

X: es la corrección de esfericidad.
d: es la distancia plana entre los dos puntos considerados.
R: es el radio de la esfera local adoptada.

Aplicando el teorema de Pitágoras al triángulo en la figura 2.18:

$$d^2 + R^2 = (R + X)^2 \qquad \textbf{(2.48)}$$

Desarrollando y dividiendo ambos lados por **2R**, y considerando como despreciable la relación $\mathbf{X^2/2R}$, la corrección de esfericidad se da por:

$$X = d^2/2R \qquad \textbf{(2.49)}$$

4.2.3 Corrección por refracción

Esta corrección debe ser introducida para tomar en consideración la curvatura que experimenta el rayo de luz cuando pasa por las capas de la atmósfera de diferente densidad. Dicha curvatura resulta ser siempre cóncava hacia abajo.

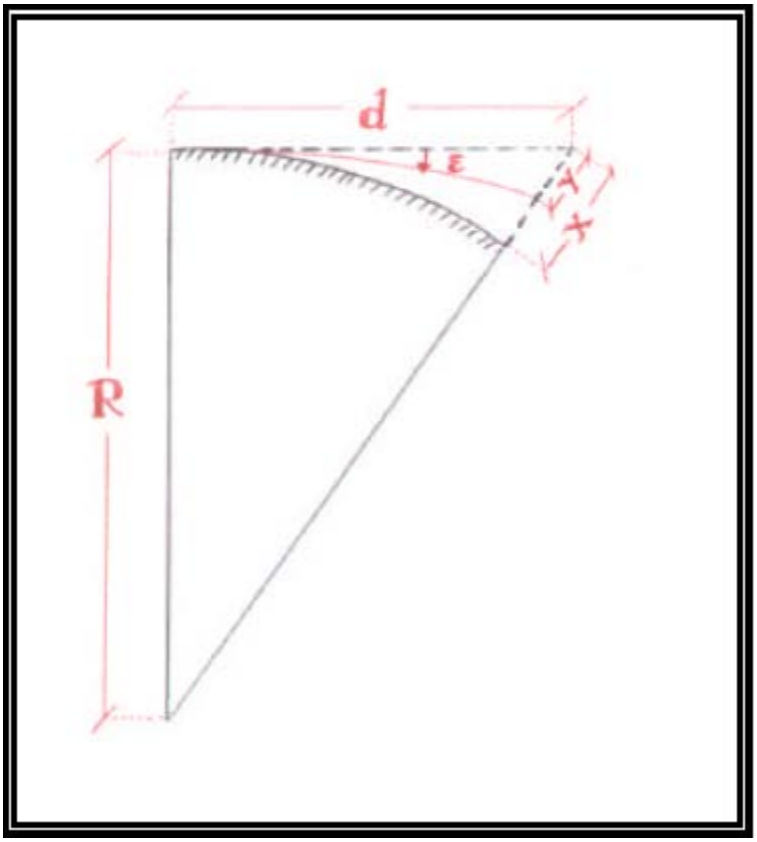


Fig. 2.19 "Corrección de refracción"

donde:

X: es la corrección de esfericidad.
Y: es la corrección de refracción.
R: es el radio de la esfera local considerada
ε = ángulo dependiente del coeficiente de refracción K (≈ 0,14) [ε = K d / 2R]

Suponiendo que **Y** y **ε** son pequeñas es posible escribir:

$$Y = d\,\varepsilon \qquad \textbf{(2.50)}$$

Y entonces, reemplazando la expresión de **ε** en el (2.14), ver 3.2.2.3 del capítulo 2, podemos decir que:

$$Y = K\,d^2/2R \qquad \textbf{(2.51)}$$

En este punto la combinación de las correcciones por esfericidad y refracción, identificadas en la cantidad **(X – Y)**, hace posible escribir :

$$(X - Y) = (1 - K)d^2/2R \qquad \textbf{(2.52)}$$

4.2.4 Corrección de altura

La corrección de altura se deriva del hecho que la distancia medida no coincide obviamente con la distancia horizontal, esto representa la cantidad a utilizarse en el (2.47). Ver 4.21 del Capítulo 2.

La relación entre la distancia oblicua (medida) "$\mathbf{d_{obl}}$" y la distancia horizontal "$\mathbf{d_{hor}}$" se define por:

$$d_{hor} = d_{obl} \cdot (1 + Q_m/R) \qquad \textbf{(2.53)}$$

Donde: $\mathbf{Q_m}$ representa el promedio aritmético entre la altura de los dos puntos.

En resumen, la fórmula a ser adoptada para la nivelación trigonométrica desde cualquier extremo, tomando en cuenta las tres correcciones descritas es:

$$\Delta_{AB} = d_{obl} \cdot (1 + Q_m/R) \cdot \cot\varphi_A + (1 - K) \cdot d^2/2R + h - l \qquad \textbf{(2.54)}$$

Adoptando esta estrategia, el punto débil resulta la suposición del valor del coeficiente de refracción **K**, particularmente para las distancias mayores a 10 Km..

Para eliminar esto, se puede emplear la técnica de nivelación trigonométrica simultánea y recíproca, donde 2 equipos simultáneamente miden los dos ángulos zenitales y la dos distancias oblicuas desde los puntos seleccionados. Se producen dos ecuaciones con dos incógnitas: $\mathbf{\Delta_{AB}}$ y **K.** De esta forma ya no es necesario suponer el valor de **K.**

4.2.5 Fuentes de error

Como es posible considerar los errores en la medida de **"h"** y **"l"** como insignificantes, así como el error de la altura promedio sobre la distancia (siempre menores a los errores de la nivelación trigonométrica hechas en distancias largas), para un análisis de la precisión de ésta puede considerarse la simple fórmula:

$$\Delta_{AB} = d_{or} \cdot \cot\varphi_A + (1 - K) \cdot d^2/2R \qquad \textbf{(2.55)}$$

Por la teoría de los errores, el "$\mathbf{m_H}$" error promedio (en este caso una función no lineal) de la diferencia de elevación "$\mathbf{\Delta_{AB}}$" será:

$$m_H = \pm \sqrt{\left[\left(\frac{\partial \Delta_{AB}}{\partial d}\right)^2 \cdot m_d^2 + \left(\frac{\partial \Delta_{AB}}{\partial \varphi_A}\right)^2 \cdot m_{\varphi_A}^2 + \left(\frac{\partial \Delta_{AB}}{\partial K}\right)^2 \cdot m_K^2\right]} \qquad \textbf{(2.56)}$$

donde $\mathbf{m_d}$, $\mathbf{m_{\varphi A}}$ y $\mathbf{m_K}$ son respectivamente los errores promedio de distancia , del ángulo zenital y del coeficiente de refracción. Con la diferenciación ligada a **d,** $\mathbf{\varphi_A}$ y **K** ,se obtiene que:

$$\frac{\partial \Delta_{AB}}{\partial d} = \cot \varphi_A + (1 - K) \cdot \frac{d}{R} \left(\text{con el segundo término despreciable}\right)$$

$$\frac{\partial \Delta_{AB}}{\partial \varphi_A} = -\frac{d}{\text{sen}^2 \varphi_A} \qquad \textbf{(2.57)}$$

$$\frac{\partial \Delta_{AB}}{\partial K} = -\frac{d^2}{2 \cdot R}$$

Analizando los tres términos de la raíz en (2.56), se puede decir que:

a. En el primer término, asumiendo como error promedio de la distancia el valor de 1/50000 (2 cms por Km.), el error en la diferencia de elevación dependerá del ángulo de inclinación "**α** " (**α** = 90° – $\boldsymbol{\varphi_A}$). Con **α** = 0°, el error se elimina por sí mismo. Sin embargo es siempre pequeño (Ej. para **α** = ±10° y **d** = 5km, el error resulta ser 1,6 cms).

b. En el segundo término, asignando a **α** un valor promedio de 10°, el error dependerá del error promedio del ángulo zenital "$\boldsymbol{\varphi_A}$" y de la distancia "**d**" (Ej. m.α = ±10° y d = 5 Km., el error resulta es 12,1 cms).

c. En el tercer término el error es una función del error del centro de **K**, y en este caso, del cuadrado de la distancia (Ej., para mK = ± 0,015 y d = 5 Km., el error resultante es 2,9 cms).

Desde tal análisis resulta evidente que la mayor influencia proviene de los errores en la medida de los ángulos zenitales. Entonces, las operaciones de medida deben ser siempre efectuadas en posiciones recíprocas del instrumento con el propósito de compensar los errores del zenit instrumental. Como una regla es preferible tomar las medidas cuando el coeficiente de refracción "**K**" está más estable, esto es cerca del mediodía, aunque a estas horas, por efecto del calor del sol, las imágenes aparecen menos estables; este problema se atenúa tomando un promedio de más mediciones.

Sin embargo, para las distancias mayores a algunos kilómetros, los errores promedio en las diferencias de elevación pueden ser considerados proporcionales a las distancias mismas.

4.2.6 Cálculos y compensación

En base a la teoría de los errores, los pesos de las medidas a introducir en el cálculo de compensación se asumen proporcionales a la inversa de los cuadrados de los errores promedio de las mismas medidas. En el caso de ser proporcional a las distancias, los pesos que se atribuyen a las diversas diferencias de elevaciones compensativas son inversamente asumidos como proporcionales a los cuadrados de las distancias. Esto es válido al considerar las nivelaciones trigonométricas en distancias medias y largas, usualmente aplicadas para apreciar las redes de expansión trigonométricas. La nivelación trigonométrica en distancias cortas asume mediciones detalladas y aprovecha el principio de nivelación taqueométrica (o taquimétrica).

Los procedimientos de compensación son similares a los de la nivelación geométrica, con la única diferencia en lo que concierne a los pesos. Se tiene que recordar que, debido a que la confiabilidad de la nivelación trigonométrica para distancias kilométricas es notablemente inferior a la de nivelación geométrica, es aceptable realizar la compensación empírica.

4.3 Altimetría con GPS (Método de apoyo vertical mediante GNSS)

El GPS (que explota la posición relativa) genera los componentes de línea-base entre las posiciones de medición, desde las que las coordenadas geocéntricas XYZ se obtienen en el sistema de referencia WGS84. Las coordenadas elipsoidales **φ, λ** y **h** se obtienen con la fórmula de transformación.

Sine embargo, en cartografía las alturas ortométricas **H** se relacionan a la superficie del Geoide y no al elipsoide. Por lo tanto es importante conocer la ondulación del Geoide o la diferencia entre **H** y **h** en puntos conocidos**.** Sólo en áreas pequeñas (< 10 Km..) y para propósitos cartográficos, se puede aproximar el Geoide al plano horizontal.

Para áreas más grandes es necesario usar los modelos globales del geoide; los diferentes modelos globales (Ej. OSU91A, EGM96) están disponibles en el software de procesado de datos GPS en los receptores. Sin embargo, estos tienen parcialmente los efectos de la distribución de las masas locales. Cada estimado local nacional del Geoide se realiza con las medidas gravimétricas. Las interpolaciones de estos modelos producen valores de ondulación **N**, necesarios para la determinación de la altura ortométrica.

Estos Geoides locales son gravimétricos e independientes de los valores de ondulación del geoide obtenidos de la combinación del GPS y las observaciones de nivelación geométricas; se estiman en una referencia geocéntrica que no coincide con el WGS84 pero que introduce pequeños diferenciales al origen de los ejes geocéntricos y a la orientación de los ejes del sistema de referencia.

En consecuencia es necesario llevar a cabo una transformación denominada “determinación o modelación del Geoide” entre los dos sistemas de referencia.

Para calcular esta transformación, se parte de los valores de altura ortométrica **H** obtenidas en las operaciones de nivelación geométrica sobre algunos puntos con posición GPS, la ondulación experimental $\mathbf{N_{WGS84}}$ se obtiene comparando la altura mencionada con la altura sobre el elipsoide **h** que surge de la compensación de la red mediante GPS.

El efecto de ubicación **δN** es:

$$\delta N = N_{WGS\,84} - N_{localgeoid} \qquad \textbf{(2.58)}$$

Con $N_{WGS84} = h - H$

La transformación datum en el más estricto sentido es la rotación y la translación espacial con la escala de variación, pero en pequeñas áreas la parte altimétrica se puede separar, estimando los parámetros de la ecuación de un plano comenzando desde los valores **δN** por al menos tres puntos de los que la altura se conoce en ambos sistemas de referencia, con la siguiente expresión:

$$a_1 X_i + a_2 Y_i + a_3 = \delta N_i \qquad \textbf{(2.59)}$$

Siendo $\mathbf{X_i}$ y $\mathbf{Y_i}$ las coordenadas cartográficas de los puntos para los que las alturas se determinaron de las dos formas (**H y h**) y $\mathbf{a_1\ a_2\ a_3}$ son los coeficientes de la ecuación del plano a ser estimado. Este plano describe la diferencia en el Datum entre N_{WGS84} y $N_{localgeoid}$. Los tres parámetros desconocidos se pueden estimar con los mínimos cuadrados si el número de los puntos con doble altura es mayor a tres

5. INSTRUMENTOS UTILIZADOS PARA ESTABLECER EL APOYO (CONTROL) HORIZONTAL Y DEL VERTICAL

5.1 Receptor GNSS (GPS)

Los receptores GPS se pueden clasificar de acuerdo a las medidas que pueden realizar y a la exactitud de las posiciones finales, como se verá más adelante en el apartado 6.2:

a. Medidas de receptores de código: sólo pueden adoptar el componente de la señal C/A transmitido. Normalmente se denominan "hand-held" (manuales) debido al pequeño tamaño de los receptores; algunos pueden recibir una corrección diferencial (en línea con el protocolo estándar RTCM= 104) para mejorar la precisión del posicionamiento. Su uso es exclusivo para la navegación.
b. Receptores de simple frecuencia: Adicionales al del código C/A, también pueden adoptar la fase L1. Realizan el posicionamiento con las medidas de código o de fase en L1 en modo absoluto, relativo o diferencial.
c. Receptores de doble frecuencia de código P: estos son los más eficaces disponibles en el mercado y pueden adoptar todas las partes de la señal (L1, L2, C/A, P). Realizan el posicionamiento con medidas de código o de fase en L1 y L2 (absoluta, relativa o diferencial). Por lo que pueden ser empleados en todas las variedades de posicionamiento estático y kinemático. Son especialmente apropiados para la técnica de inicialización dinámica (al vuelo) "On The Fly" (OTF).
d. Receptores de doble frecuencia de código Y: igual que los de la categoría de código P, pero también pueden adoptar el código P usando el Anti-Spoofing (A/S).

5.2 Instrumentos electrónicos

La medida de las distancias usando los sistemas de medición de distancia de ondas electromagnéticas ha sufrido grandes mejoras en los últimos cinco años; cada vez más los productores de instrumentos topográficos están incluyendo equipos de medición de distancia de ondas electromagnéticas en sus teoditos. Estos sistemas, llamados internacionalmente EDM (Equipo de medición de Distancia Electrónica) o DME (Equipo de Medición de Distancia)[24], operan de dos diferentes maneras:

a. medida de fase
b. medida de impulsos

5.2.1 Medición Electrónica de Distancias mediante fase

Estos instrumentos se basan en la teoría de la propagación de las ondas electromagnéticas. Se propagan usando la teoría del seno, con la velocidad igual a la de la luz en el aire ($\mathbf{c_{air}}$), que es un poquito menor a la de nula, siendo igual a la relación entre la velocidad en el ($\mathbf{c_0}$) y el índice de refracción ($\mathbf{\nu_{air}}$) del aire que depende de la temperatura, presión y humedad: $\mathbf{\{c_{air}=c_0/\nu_{air}(t,p,h)\}}$

Estos equipos de medición electrónica de distancia están hechos de tres partes distintas: el transmisor, el reflector y el receptor; el primero y el último están juntos en la instalación del equipo en la estación ocupada, el reflector está separado y se coloca en el punto de la distancia que va a ser determinada.

El transmisor produce una señal en una frecuencia previamente establecida; el reflector amplifica y refleja la señal, que se recibe en un discriminador de fase capaz de determinar la diferencia de fase entre las señales transmitidas y las recibidas con una orden de precisión de una centésima de radian.

[24] (IHO S-32 – fifth edition 1994, 1406 and 1576)

Debido a que la señal ha cubierto la distancia entre los dos puntos dos veces, de ida y regreso, esta doble distancia puede ser calculada si fuera posible determinar el número de ciclos íntegros que han pasado entre la transmisión y la recepción de la señal. Siendo incapaz de determinar este número de ciclos íntegros, que se llama ambigüedad, la medición de distancia electromagnética de fase usa tres técnicas diferentes para redondear este problema:

a. la modulación por diez;
b. el método de las tres frecuencias;
c. la modulación de la frecuencia de la señal.

5.2.1.1 La modulación por diez

Con esta técnica dos o más señales se envían en secuencia con diferentes frecuencias, variando múltiplos de 10 (por eso el nombre), para medir la distancia para la diferencia de fase.

La primera señal tiene una onda más larga que el doble delalcance del equipo. De esta forma la distancia puede ser determinada sin ambigüedad con la siguiente ecuación:

$$d = \left(\frac{\lambda}{2}\right) \cdot \left(\frac{\Delta\varphi}{2\pi}\right) \qquad \textbf{(2.60)}$$

Donde **d** representa la mitad de la distancia doble.

Sin embargo, con este método, la distancia es determinada con baja precisión, si la distancia del EDM desde el objetivo fuera de 1 Km., la señal tendría un tamaño de al menos 2 Km., entonces, la distancia sería medida con una precisión igual a 1, 59 m, aplicando (2, 60) con la precisión del discriminador de fase de 1/100 del radian. Este error es obviamente inaceptable en la medición de distancias sobre un rango de 1 km. Para solventar este problema, después de la transmisión de la primera señal y del cálculo de un primer valor de aproximación para la distancia, una segunda señal es transmitida, con una onda igual a 1/100 de la señal anterior. En este caso, la determinación de la distancia requiere de la definición de la ambigüedad de la fase, esto es posible teniendo lista la distancia aproximada entre los dos puntos con la suficiente precisión para calcularla. De esta forma, el valor de la distancia aumenta 100 veces y la precisión logra, en el caso anterior, un valor de 1,6 cms, que se consideraría aceptable. Es posible transmitir otra señal de una onda igual a 1/100 de la segunda, mejorando la precisión en unos pocos milímetros.

5.2.1.2 Método de las tres frecuencias

Resume una variación del método anterior, al utilizar dos frecuencias iguales y cercanas con ondas de tamaño del orden de la distancia de alcance del equipo, que permite la determinación de una primera aproximación de la distancia. Una tercera frecuencia con una onda de tamaño mucho más pequeña que las dos primeras, permite la exacta determinación de la distancia.

5.2.1.3 Variación de frecuencia

Con esta técnica la frecuencia de la señal transmitida, comenzando por el valor establecido, es aumentada (o disminuida) hasta que se logre una diferencia de fase nula entre la señal transmitida y la recibida. La determinación de la distancia puede ser calculada con una ecuación en la que el número de ciclos permanece desconocido, sin embargo, al continuar aumentando la frecuencia (y por ende disminuyendo el tamaño de la onda); una diferencia de fase cero será producida nuevamente entre las señales recibidas y transmitidas, cuando el número de ciclos íntegros sea disminuido por un número natural. En este punto, se puede resolver la fase de ambigüedad luego de la combinación de las dos ecuaciones (correspondiendo a los dos valores del tamaño de la onda).

En las dos primeras técnicas (método de modulación por diez y método de las tres frecuencias), la determinación de la diferencia de fase es necesaria. Esto se puede lograr a través de una fase discriminadora compuesta de un transformador de ondas seno, de manera que las ondas cuadradas (transformador análogo-digital) sean transmitidas y recibidas, y utilizando un contador del tiempo cuando las ondas cuadradas sean positivas y negativas. Este tiempo se convierte en un valor de distancia. Claramente, para aumentar la precisión de la medida, este cálculo se repite miles de veces pero toma unos pocos segundos completar la medición.

Recientemente algunos DME de fase han sido producidos sin el discriminador. Usan una correlación matemática entre las señales transmitidas y recibidas para determinar la fase de diferencia, permitiendo el logro de grandes precisiones en las mediciones de distancia. De acuerdo a la frecuencia producida, la fase DME se puede clasificar como:

a. MDM (Medición de Distancia de Micro-ondas)
b. EODM (Medición de Distancia Electro-óptica) o geodimétros.

El primer grupo usa frecuencias en el orden de los 30MHz (ondas de tamaño centimétrico), se emplean para determinar largas distancias; en estos instrumentos el reflector está activo, esto quiere decir que es capaz de amplificar la señal recibida y de reflejarla con gran poder.

El requisito para alterar la frecuencia de la señal transmitida requiere de cierta consideración y de permiso para la propagación de las ondas electromagnéticas a través de la atmósfera. De hecho solo algunos rangos de frecuencia son capaces de pasar a través de la atmósfera sin grandes pérdidas de poder. Los rayos infrarrojos (ondas de tamaño micrométrico), que requieren de un consumo limitado del poder de la energía suplida, no son mayormente influenciados por la luz solar, son usados para la determinación de las distancias de 2-3 kilómetros; las ondas centimétricas, llamadas micro ondas Hertzianas, que tienen tamaños de pocos centímetros, también son usadas para la determinación de distancias altamente elevadas, también en presencia de nubosidad o de precipitaciones, esto requiere una gran distribución de poder. Si la señal tiene ondas de un rango visible, ondas incluidas entre 0,3 y 1 micro-metro, las ondas son creadas con sistemas ópticos específicos y reflejados con simples espejos o prismas. Por razones prácticas, existe, por lo tanto, la demanda de emitir ondas muy cortas desde pocos centímetros en el MDMs hasta pocas décimas de micrón en los geodimetros. Esta demanda, sin embargo, no se concilia con la necesidad de emitir ondas con los alcances en el orden de metros para determinar el valor exacto de la distancia u ondas de algunos kilómetros para determinar el primer valor aproximado.

Estas dos demandas son satisfechas al acudir a la modulación de la frecuencia en la MDMs o a la modulación de amplitud en los geodimetros.

En los geodimetros, la longitud de la onda portadora es constante y asume los valores del orden de unos cuantos microns (satisfaciendo la primera demanda), mientras el alcance de las ondas moduladas aumenta los valores variantes desde unos pocos metros a algunos kilómetros (satisfaciendo la segunda demanda).

5.2.2 Medición Electrónica de Distancias mediante pulsos

El principio operativo de EDM, recientemente introducido en los levantamientos topográficos, se basa en la medición del tiempo tomado por el pulso en ir y volver desde el distanciómetro al reflector.

El mismo principio es usado, por ejemplo, por un sistema particular para la medición de altimetría satelital, denominada SLR (Satellite Laser Ranging), en el que un impulso Láser se refleja hacia atrás por un satélite reflector artificial. La evolución de los sistemas electrónicos ha permitido el empleo de estos métodos en el EDM topográfico, obteniendo comportamientos superiores a aquellos en la fase EDM.

Un diodo emisor de haz luminoso láser es estimulado por un intervalo de corto tiempo. La medida exacta del tiempo "**t**" entre la transmisión del pulso y su siguiente recepción debería ser suficiente para determinar la distancia:

$$d = \frac{v \cdot t}{2} \qquad \textbf{(2.61)}$$

Sin embargo la medición del tiempo es hecha con ciertos errores. Un intervalo de tiempo de 10^{-8} segundos (típico para un reloj de cuarzo) es suficiente para el impulso de brillo para cubrir 3 metros; esto no es aceptable para un EDM. Es por lo tanto necesario para un reajuste en la medición del tiempo, obtenido al determinar la fracción del período de oscilación del reloj entre la salida del impulso y su recibo:

$$t = n \cdot T + t_A - t_B \qquad \textbf{(2.62)}$$

Donde **T** es el período del reloj, **n** es el número de períodos y por ende ***n*T** es la medición del tiempo directamente producido por el reloj; $\mathbf{t_A}$ es el tiempo entre la transmisión de la señal y el inicio de la oscilación del reloj y $\mathbf{t_B}$ es el tiempo utilizado entre la recepción de la señal hasta terminación de la oscilación final del reloj. Para determinar estas dos fracciones de tiempo, el voltaje con el que el láser diodo es estimulado gradualmente de una forma lineal, entonces al determinar el voltaje $\mathbf{V_T}$ que podría ser usado para una completa oscilación del reloj, las dos fracciones $\mathbf{t_A}$ y $\mathbf{t_B}$ pueden ser calculadas con una simple proporción:

$$t_A : V_A = t_B : V_A = T : V_T \qquad \textbf{(2.63)}$$

Donde $\mathbf{V_A}$ y $\mathbf{V_B}$ son los voltajes respectivamente suministrados a las cabezas del diodo en el tiempo $\mathbf{t_A}$ y $\mathbf{t_B}$.

En teoría sería suficiente un solo impulso para determinar la distancia; en la práctica miles de impulsos son transmitidos para incrementar la precisión. Algunos sistemas EDM transmiten hasta 2000 impulsos por segundo, empleando 0,8 seg. (1.600 impulsos) para lograr un error estándar 5 mm + 1mm/Km. y 3 seg (6000 impulsos) para obtener un error estándar de 3 mm+ 1mm/km.

Las muchas ventajas de este método en comparación con las de la medición de fase son evidentes:

a. Se requiere menos tiempo para tomar las mediciones; después de unos pocos impulsos (pocos milisegundos) se obtiene una precisión centimétrica en la medición de la distancia, mientras el EDM de fase generalmente requiere de unos segundos completos. La habilidad de tomar mediciones muy rápidamente es útil cuando se determina la distancia de un punto en movimiento (y por lo tanto en los levantamientos batimétricos);

b. La señal puede ser también regresada con energía debil, porque un pequeño voltaje es suficiente para detener el reloj y completar el pertinente cálculo del tiempo. Esto permite notables aumentos en el alcance del distanciómetro para las intensidades equivalentes de la señal transmitida. En términos de suministro de energía, la transmisión de impulsos es más económica que la transmisión continua del portador de la señal (mayor vida de la batería);

c. Es posible obtener EDM que no necesite reflectores para producir una señal de retorno. Estos equipos tienen rangos fuertemente influenciados por la cualidad y el color de la superficie reflejada, estos no operan sobre distancias mayores a 200-300 metros y pueden lograr precisiones de 5-10 mms. Son muy útiles para la medición de distancias en puntos inaccesibles.

d. La calidad de la medición no es fuertemente influenciada por los factores ambientales (temperatura, presión o humedad) como en las mediciones con microondas (MDM) por fases.

Además de estas ventajas, generalmente están los altos costos del EDM de impulsos que necesitan ser considerados; probablemente sólo se justifican en el caso donde es necesario medir frecuentemente las distancias de más de 1 Km.

5.2.3 Precisión y distancia de EDM

Generalmente, los EODMs, o geodimetros, usan ondas infrarrojas, raramente las ondas incluidas en el espectro visible (con ondas de un alcance en el orden de 1-5 micrometros), u ondas láser; en este equipo el reflector es pasivo, está hecho de uno o más de prismas rectangulares que reflejan la señal paralela a la del rayo incidental. Aumentando el número de prismas del reflector se aumenta el rango correspondiente del geodimetro, que puede llegar a 4 ó 5 kilómetros.

La precisión de las ondas EDM depende de numerosos factores, en la actualidad ha llegado a niveles comparables a los obtenidos con los cables de INVAR.

Un elemento importante de EDM está resumido en el oscilador, de cuya estabilidad depende la precisión del equipo. De hecho, la frecuencia del oscilador es una función de temperatura; la ley de variación de frecuencia a medida que la temperatura varía debe ser memorizada en el EDM, para se capaz de aplicar las apropiadas correcciones, que pueden llegar a 3-5 ppms para 20ºC de variación de temperatura.

Es necesario considerar la refracción atmósferica que influencia directamente el alcance de la onda de las señales transmitidas. El efecto de la refracción depende de los valores de la temperatura y de la presión atmósferica que debe ser insertada en el sistema, que después calcula, con una fórmula empírica, las correcciones a ser aplicadas en ppm para la distancia medida. En otros casos los constructores proveen algunas tablas, a través de las cuales la corrección a aplicar a la distancia puede ser directamente determinada, conociendo los valores de la temperatura y la presión. Es útil recordar que, en la primera aproximación, una corrección de 1 ppm puede derivarse de la variación de 1ºC de temperatura, de 3. 5 hectopascales de presión atmósferica o de 25 hectopascales de presión parcial de la humedad del aire.

La antigüedad del equipo causa una variación de la frecuencia nominal considerada del oscilador, que puede llegar a valores de algunos ppms después de 2-3 años de vida. Es necesario, por lo tanto, recalibrar el sistema periódicamente.

Finalmente, para determinar la distancia es necesario considerar la constante del instrumento, llamado la constante prisma, porque, generalmente el centro de la superficie del prisma reflejada no coincide con el centro del reflector. Dicha constante es creada por los reflectores y necesita ser memorizada en el EDM para cada combinación de prismas usados.

Al afectar el rango del EDM, además de ser una característica de este tipo de sistema, también depende de las condiciones atmósfericas y del número de prismas que se usen. Como se dijo anteriormente, con el mismo suministro de energía, el EDMs al usar impulsos tiene mayores rangos que aquellos medidos por fase, pueden lograr, bajo condiciones atmosféricas óptimas, distancias de 15 kilómetros.

Se deben tomar en cuenta las condiciones atmósfericas que son consideradas:

a. desfavorable: mucha niebla o sol intenso con una refracción fuerte;
b. promedio: poca niebla o el sol oculto
c. buenas: no hay niebla y el cielo nuboso

es evidente que, la precisión nominal declarada por los constructores del EDM se logra sólo si todos los factores que pueden afectar las mediciones son considerados. En la fase general el EDM permite el logro, sin ninguna perspicacia particular, de precisiones en el orden de **σ = 5mm + 5ppm.**

5.2.4 Estaciones Totales

La instalación de un EDM y un teodolito electrónico puede ser extremadamente productiva, porque es positivo integrar los datos que vienen del distanciómetro con la medición angular obtenidos con el teodolito. Entonces, es posible calcular inmediatamente otras cantidades, indirectamente obtenidas, como las distancias horizontales o las coodenadas rectangulares, etc.

El teodolito – EDM instalado se llama Estación Total, o estación integrada, ya que permite obtener singularmente todas las mediciones del levantamiento topográfico como los ángulos, distancias, coordenadas, etc.

Los datos pueden ser registrados en un “libro de campo”, pero debido a su naturaleza digital, los datos pueden ser guardados en medios magnéticos o en la memoria de estado sólido. Entonces se evitan los errores posibles de transcripción y las operaciones de medición se aceleran.

El principio de inspiración de estos sistemas es el de automatizar las operaciones repetitivas de levantamiento topográfico como las lecturas angulares y de distancia, el registro de datos, el ingreso de detalles de estaciones, etc.

5.3 Instrumentos ópticos

5.3.1 El sextante marino (Círculo de reflexión)

El círculo de reflexión es una herramienta específicamente construida para medir los ángulos horizontales entre dos objetos. La precisión del sextante marino en la medición de ángulos varía de 20’’ a 1’.

Es un sistema de reflexión y la medición de los ángulos se basa, como para el sextante, en la teoría de las ópticas de la doble reflexión de un rayo brillante, con la diferencia que, en el círculo, los prismas se emplean en vez de los espejos.

Loss dos prismas se colocan uno de lado, el otro más alto y en el centro de una caja circular que tenga una asa. El prisma en el centro se mueve y tiene dos aletas que limitan los rayos brillantes recogidos por el prisma por los que son reflejados por la hipotenusa del prisma. El otro prisma está fijo y colocado a una altura del plano de la caja para que cubra sólo la mitad del interior del campo del telescopio.

El telescopio está fijo de forma tal que las imágenes directas de los objetos aparecen en la parte más alta de su campo y en la mitad más baja para aquellas reflejadas por el prisma pequeño. Dentro de la caja está un círculo graduado, fijado al prisma grande, para que rote con respecto a un índice marcado en la caja.

Para permitir que el equipo trabaje correctamente, es necesario que las dos condiciones de operación fundamental de doble reflexión geniometros se respete, esto es, en el caso de los prismas, están exactamente perpendiculares al plano de la caja del instrumento y, cuando las dos hipotenusas están paralelas, el índice marca 0º en el nonio de graduación.

El prisma grande no debe moverse, excepto para rotarlo alrededor de su pivote; esto está considerado por la construcción perpendicular de la caja. La perpendicularidad del prisma pequeño con la caja se puede ajustar con un tornillo. Fije el nonio a 0º, si un objeto distante es observado a través del telescopio y las dos partes de la imagen se ven perfectamente alineadas verticalmente, la directa arriba y la reflejada abajo, indica que la herramienta está rectificada perfectamente.

El paralelismo entre las hipotenusas de los prismas puede ser corregido con un tornillo especial que hace que el prisma pequeño rote alrededor del eje normal del plano de la caja.

5.3.2 Teodolitos

El teodolito es un instrumento que mide los ángulos del acimut, por medio de un círculo horizontal graduado, y los ángulos cenitales a través de un círculo vertical graduado. La precisión de los teodolitos en la medición de ángulos varía de 0.1'' a 10''; los taqueometros (o taquímetros) se diferencian de los teodolitos debido a la precisión tan baja que se puede obtener, de 10'' a 10', en medidas angulares.

En un teodolito se pueden identificar tres ejes:

a. El eje primario, alrededor del que rota la alidada ;
b. El eje secundario, alrededor del que rota el telescopio;
c. El eje de colimación del telescopio.

Las partes principales del teodolito son:

a. La base (o placa triangular de nivelación), equipada con un pedestal y tres tornillos de ajuste (tornillos de nivelación) en la placa base que es la parte más baja del teodolito conectada a la cabeza del tripoide (o), de manera que se pueda, con ciertos límites, centrar el instrumento sobre la marca de referencia. El nivel más bajo o nivel circular (también llamado nivel universal o nivel de ojo de buey) y el visor óptico se anclan a él.

b. La alidada es generalmente un marco de forma –U, que se puede rotar alrededor del eje vertical pasando por el centro del instrumento (eje primario) y contiene el índice de lectura del círculo horizontal grabado. Un nivel más alto (llamado de burbuja o de burbuja sensible) se ancla a él para hacer que el eje primario sea vertical y para fijar el origen de los ángulos zenit al zenit, exceptuando los errores residuales.

c. El círculo horizontal graduado, situado encima del pedestal y bajo la alidada.

d. El telescopio, adjunto a la alidada para que su eje de colimación sea perpendicular a su eje de rotación. El telescopio tiene una magnificación de 28 a 45 veces, esto hace que se incremente la precisión de las mediciones.

e. El círculo vertical, conectado rígidamente al telescopio, para leer los ángulos cenitales.

El teodolito puede ser de dos tipos, dependiendo del sistema de aseguramiento utilizado en el círculo horizontal; repetidor y reiterativo.

a. los teodolitos repetidores (Fig. 2. 20) son aquellos que permiten fijar el círculo horizontal al pedestal y a la alidada a través de dos tornillos separados. Cuando ambos tornillos de seguridad estén operativos se fija el círculo horizontal para el pedestal y para la alidada, de manera que el instrumento no pueda rotar sobre el eje principal.

b. En los teodolitos reiterativos (Fig. 2. 20), el círculo horizontal permanece independiente del pedestal y de la alidada; puede rotar con el pedestal a través de un tornillo especial, normalmente está protegido de maniobras accidentales. La alidada se asegura al pedestal a través del tornillo de seguridad, junto al tornillo de movimientos menores.

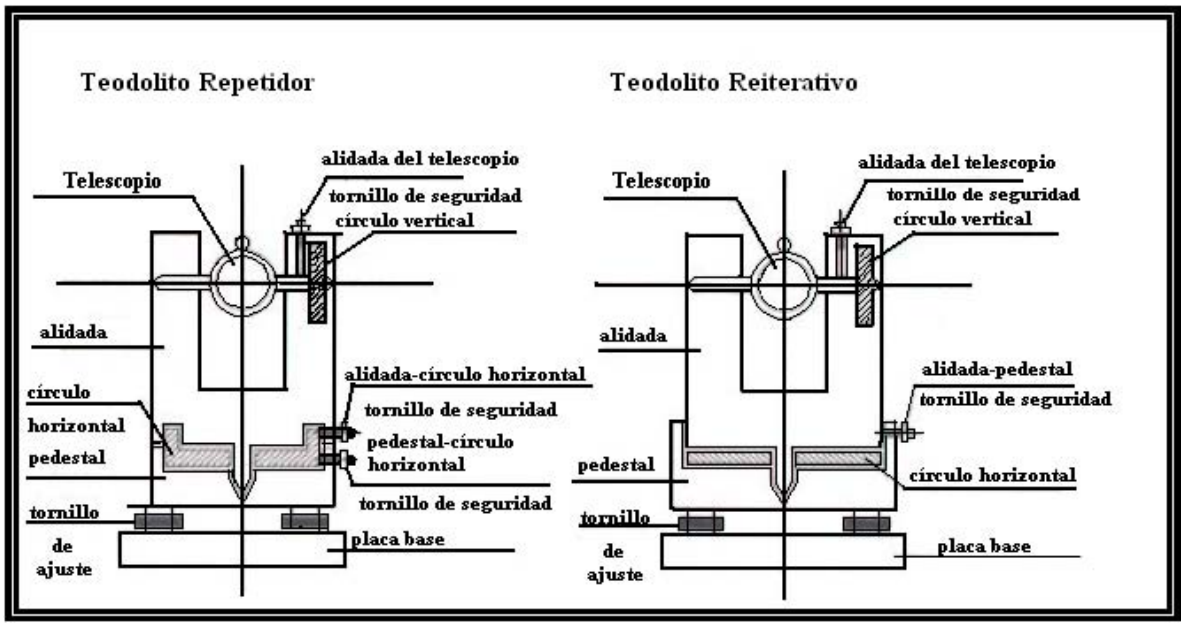


Fig. 2.20 "Teodolitos"

Antes de obtener cualquier medición angular, es esencial verificar que entre los ejes principales (primario, secundario y de coincidencia) y otras partes del instrumento se hayan cumplido algunas condiciones de precisión. Algunas de éstas están directamente verificadas por el constructor del instrumento, las condiciones de la construcción, y si el instrumento es utilizado con cuidado, siempre pueden ser consideradas unilateralmente y por ende satisfechas.

Algunas condiciones, llamadas condiciones de rectificación, deben ser verificadas directamente por el operador antes de comenzar cada sesión de medición. En particular consiste en establecer la verticalidad del eje primario; esto se logra al utilizar el eje de nivel, que es más sensible que el circular utilizado para precisamente centrar el eje principal del instrumento sobre la marca de referencia. Para utilizar el eje de nivel, la alidada tiene que ser rotada hasta que el nivel esté alineado con la dirección de los dos tornillos de ajuste y, utilizándolos, la burbuja debe estar centrada. El nivel está corregido, cuando al rotar la alidada 180º la burbuja de nivel se mantiene centrada; si no será necesario utilizar el tornillo de rectificación y los dos tornillos de ajuste. El paso final para corregir el nivel, el instrumento se rota 90º y se utiliza un tercer tornillo de ajuste para centrar la burbuja de nivel. (Estos tornillos suelen ser denominados "tornillos calantes")

El otro ajuste, que normalmente sólo se requiere cuando cambian los observadores, es el de garantizar que el telescopio está enfocado correctamente. Esto se logra usando el anillo de enfoque en el telescopio para asegurar que las líneas del retículo aparecen o se muestran claras y nítidas.

5.3.3 Instrumentos de nivelación (Niveles) y estadía

El instrumento de nivelación (o nivel) es un instrumento que permite la creación de un eje de colimación horizontal y es usado en nivelación geométrica. Los niveles modernos se dividen en:

a. Niveles fijos y Niveles de horizontalización automática;
b. Niveles digitales;
c. Niveles láser

Habiendo escogido el tipo de nivel, y por ende definido el mecanismo de lectura, es necesario seleccionar una estadía. Mira o regla de nivelación, cuyo principio de graduación lo conecta al nivel. Los niveles con telescopios fijos o de nivel de anteojo se han vuelto obsoletos debido a la existencia de niveles digitales y láser.

5.3.3.1 Nivel de telescopio fijo (Nivel de anteojo fijo)

Consiste de un telescopio que forma una unidad sencilla con el pivote de rotación y con su base, similar a la de un teodolito. Un nivel de burbuja está fijo al telescopio esto permite al instrumento ser nivelado en posición, así como lo hace el teodoloito. Una vez que el nivel de burbuja está centrado en las dos direcciones ortogonales, el nivel puede ser empleado para determinar la diferencia de elevación en cualquier dirección.

Una condición periódicamente revisada, es la que el eje del nivel de burbuja esté paralelo al eje de colimación. Para revisar el instrumento, todo lo que se necesita es tomar una medida de elevación conocida entre dos puntos con el nivel en el medio y de mover el retículo del telescopio con el tornillo especial hasta que la lectura de la estadía sea correcta. (desde una estación cercana a una mira, analizando la lectura sobre la más alejada).

5.3.3.2 Nivel de telescopio fijo con el tornillo de elevación (Nivel de anteojo fijo)

En estos niveles el telescopio no está conectado rígidamente al pivote de rotación sino a través de un camino adjunto en un extremo y conectado del otro por un tornillo, llamado tornillo de elevación (o tornillo micrométrico). El tornillo de elevación permite rotar el telescopio, a través de un ángulo vertical muy pequeño; esto permite que la línea de visión horizontal sea lograda aunque el eje primario no sea vertical. Estos niveles tienen el nivel esférico pegado de la base, que cuando se centra, hace el eje primario vertical, aproximadamente. Para cada visión, es necesario usar el tornillo de elevación hasta que el nivel de burbuja adjunto al telescopio esté centrado, esto hace el eje de colimación horizontal.

5.3.3.3 Nivel de telescopio de rotación (Nivel reversible)

En estos niveles el telescopio puede rotar por un ángulo vertical (180º) dentro de un mango conectado sólidamente al pivote de rotación. Pegado del telescopio está un nivel de burbuja de reverso con una curva doble, que le permite trabajar hasta cuando está al revés. En estos instrumentos hay por lo tanto dos ejes de nivel: el eje de rotación del telescopio (que coincide con el eje del mango) y el eje de colimación. Asumiendo que los dos ejes son paralelos y que el eje del mango coincide con el eje de colimación, se hacen dos lecturas en la estadía, correspondiendo a las dos posiciones extremas que el telescopio puede asumir, cada vez que el nivel de burbuja esté centrado con el tornillo de elevación.

Usando la media aritmética de ambas lecturas, cualquier error entre el eje del nivel y el eje de colimación está compensado, ya que el error es de señal opuesta en las dos lecturas obtenidas.

5.3.3.4 Nivel de horizontalización automática

En estos instrumentos el eje de colimación se hace automáticamente horizontal por un sistema interno, independientemente de la verticalidad de sus ejes. Ya que estos niveles, llamados compensadores, trabajan con ciertos límites de rotación del telescopio del orden de 10', los niveles de autoalineación están equipados con un nivel circular, que una vez centrado, garantiza la correcta operación del instrumento. Los compensadores, cuyo diseño es diferente en cada fabricante, normalmente constituyen un elemento de prisma sensitiva suspendido en un péndulo que usa el principio de que la fuerza de gravedad creará una línea horizontal de visión.

5.3.3.5 Nivel digital

Estos niveles se parecen a los de autoalineación pero la lectura de la mira (o estadía) de nivelación se hace automáticamente, aunque es posible para la lectura óptica tradicional, en caso de mal funcionamiento de las partes electrónicas o de que se agoten las baterías.

Las estadías utilizadas con este tipo de niveles son específicas; por un lado tienen una graduación como con la estadía normal, en el otro lado tienen graduaciones de un código de barras. La imagen del código de barras desde la mira de nivelación está transmitida separadamente a la vista ocular para permitir la lectura de la mira de nivelación y para un sistema de medición electrónica. La señal digital se decodifica a través de un microprocesador que puede producir, además de la diferencia de elevación, la distancia horizontal entre los dos puntos.

Las ventajas introducidas por estos sistemas vienen de la habilidad de grabar automáticamente los datos del levantamiento, con un ahorro considerable de tiempo y con la eliminación total de equivocaciones al transcribir. La operación correcta está garantizada sólo bajo buenas condiciones de luz, esto quiere decir que las observaciones se hacen al aire libre. La precisión de estos niveles es de 0,1 mm para la diferencia de elevaciones y de 1 cm para las distancias.

5.3.3.6 Nivel láser

Estos niveles usan la transmisión de un haz láser que se ajusta a la línea de visión del telescopio. Algunos de estos instrumentos, que son normalmente de autoalineación, no necesitan la intervención de un operador. Una vez que el equipo se haya ubicado en la estación con la ayuda de un nivel circular, un motor hace que el haz de láser rote continuamente, a través de un prisma de cambio; de esta forma sólo se necesita el operador para ejecutar la nivelación dentro de un campo de 200-300 mts. del rayo.

Las miras de nivelación usadas en estos niveles tienen un sensor, de decímetros de largo, que se pueden desplazar sobre la estadía. Cuando el haz láser llega al sensor, el valor correspondiente al rayo puede leerse y ser automáticamente grabado.

La precisión de las medidas puede ser menor a un milímetro, el sistema es ideal para la nivelación radial.

6. MÉTODOS DE POSICIONAMIENTO (TÉCNICAS DE POSICIONAMIENTO)

6.1 GNSS (GPS)

6.1.1 Descripción del Sistema de Posicionamiento Global (GPS)

El sistema de posicionamiento global GPS se basa en la recepción de señales de radio enviadas desde un satélite artificial en la órbita alrededor de la tierra, es en tiempo real, de todo clima, 24 horas, mundial, basado en el sistema de posicionamiento tridimensional de base satelital absoluta. El nombre completo del sistema es NAVSTAR GPS (NAVigation Satellite Timing And Ranging Global

Positioning System) que significa Sistema de Posicionamiento Global (GPS) para navegación por satélite con medición de tiempos y distancias (NAVSTAR). El sistema, creado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, se maneja en la actualidad con la colaboración del Departamento de Comercio y se ha hecho para permitir a cada momento en cada parte del mundo, el posicionamiento tridimensional de los objetos, incluso en movimiento.

El sistema se divide en:

a. El segmento espacial: formado por un numero mínimo de 24 satélites, aun cuando frecuentemente hay mas, en órbitas aproximadamente circulares alrededor de la tierra a una altura de 20.200 Kms. Los satélites están distribuidos en en grupos de 4 para cada plano orbital, los cuales son 6 y tienen una inclinación de 55º con el Ecuador con un período de revolución de cerca de 12 horas. Esta distribución de la constelación asegura la visibilidad de al menos 4 satélites (normalmente de 6 a 8) en todo momento y lo ubica en una elevación sobre los 15º grados del horizonte, que es fundamental para el posicionamiento.

   Los satélites cumplen con las siguientes funciones:

   - transmitir información a los usuarios a través de una señal de radio;
   - mantener una referencia de tiempo acertada debido al alto grado de exactitud (de 10^{-12} a 10^{-14} segundos) de los relojes atómicos de cesio y de rubidio a bordo;
   - recibir y guardar la información del segmento de control;
   - hacer correcciones a las órbitas.

   Los satélites se han lanzado en diferentes épocas, comenzando en 1978, en bloques que remplazaron los modelos antiguos con los más avanzados.

b. Segmento de control: incluye 5 estaciones de monitoreo y adicionalmente una sexta en Sunnyvale, EEUU, donde se guarda una copia de todos los datos seleccionados y de todas las operaciones relacionadas. Dentro de las 5 estaciones, todas con estaciones metereológicas para la evaluación de los efectos de la troposfera en las señales de radio enviadas por los satélites, tres estaciones (Ascensión, Diego García y Kwajalein) tienen la habilidad de enviar mensajes a los satélites y una (Colorado Spings, EEUU) es la estación principal, donde se realizan los cálculos necesarios para la determinación de nuevas órbitas. En resumen las tareas del segmento de control son:

   - Hacer seguimiento contínuo a los satélites y procesar la data recibida para el cálculo de la posición de tiempo-espacio (Efemérides);
   - Revisar el estado general del sistema, en particular los relojes satelitales;
   - Implementar correcciones de órbita;
   - Agregar nuevos datos a los satélites, incluyendo la predicción Efemerides para las próximas 12 ó 24 horas, que luego son transmitidas a los usuarios.

c. El segmento usuario: está conformado por usuarios equipados con receptores con antenas GPS. Estos son sistemas pasivos ya que son capaces de recoger datos sin emitir algunas señales. Existen varios tipos de receptores dependiendo de la estrategia utilizada para analizar la señal receptora y la exactitud de posición requerida.

d. La estructura de señal: Cada satélite emite continuamente ondas electromagnéticas en frecuencias escogidas cuidadosamente a una banda estrecha que se recibe sobre la superficie terrestre y es por esto relativamente protegido de la interferencia. Estas ondas portadoras llevan la información al usuario a través de un código de modulación. Los

relojes a bordo producen una frecuencia primaria f0 = 10.23 MHz; de esta frecuencia primaria se originan precisamente las tres partes fundamentales de la señal GPS:

- *Componente portador*
  Esta hecho de dos ondas sinusoidales llamadas L1 y L2 respectivamente de las frecuencias 154 x f0 = 1575.42 MHz (λL1≅19 cm) y 120 x f0 = 1227.60 MHz (λL2 ≅24 cm).

- *Codificador*
  Comprende dos códigos llamados Coarse Acquisition u obtención clara o gruesa (C/A) y Preciso (P), el primero sólo modula la frecuencia del transportador L1 y el segundo ambos el L1 y el L2.

- Estos códigos son ondas cuadradas formadas por valores de transición +1 y -1 producidas por un algoritmo simple, que tienen una característica de equilibrio estadístico de valores positivos y negativos; los códigos se llaman "pseudo accidental" o PRN (Pseudos Random Noise o Ruido Pseudo Aleatorio). El código de frecuencia C/A es 1. 023 MHz (C/A=300m), el código P tiene una frecuencia que es 1 x f0 = 10.23 MHz (P=30 m). El código C/A está disponible para el uso civil mientras que el código P se reserva para uso militar y otros usuarios autorizados. El Departamento de Defensa de EEUU se reserva el derecho de disfrazar el código P por encriptación y de usar el procedimiento llamado Anti-Spoofing (A-S). El código P encriptado se llama código Y.

- *Componente de mensaje*
  Estác ompuesto del mensaje de navegación D que tiene una frecuencia de f0/204800 = 50 **Hz**. Contiene la efemérides (o almanaque) detalles de los satélites, información de su salud y de los relojes a bordo.

6.1.2 Principios de posicionamiento

El posicionamiento GPS utiliza la técnica de Intersección de Medidas Espaciales. El sistema de referencia geodésica (Datum) explotado es llamado el Sistema Geodésico Mundial 1984 (WGS84), que está creado por un sistema cartesiano con ejes en sentido horario con el origen en el centro de la masa de la tierra, con el que se asocia el elipsoide geocéntrico WGS84. Si se conocen las coordenadas satelitales de este sistema de referencia, las coordenadas incógnitas de un punto se conectan a las coordenadas conocidas de los satélites observados a través de la medición de un número suficiente de distancias entre los satélites y el centro de fase de una antena conectada al receptor en la posición requerida. Esencialmente hay tres principios de posicionamiento:

a. posicionamiento absoluto (o normal);
b. posicionamiento relativo;
c. posicionamiento diferencial

6.1.2.1 Posicionamiento absoluto

El propósito de este método de posicionamiento es la determinación de las coordenadas posicionales en el sistema de referencia global WGS84. Esto se logra al utilizar el componente de señal impulsivo (código C/A o código P si está disponible) o de analizar las dos fases de las portadoras L1 y L2.

En el primer caso, las distancias receptoras-satelitales se llaman "pseudo-ranges" (pseudo distancias) y son calculadas de acuerdo al tiempo de propagación, que es el que demora la señal en llegar al receptor desde el satélite. Este tiempo se mide con un receptor a través de las correlaciones entre la señal recibida y una copia producida por el receptor; la señal copiada en el receptor se cambia para alinearla con la señal satelital. La diferencia del tiempo calculado está influenciada por el error

asincrónico entre el satélite y los relojes del receptor, además del estado (corrección) del reloj receptor que es menos exacto que los relojes atómicos de los satélites.
Estos factores no pueden ser ignorados en la medición de tiempo de propagación; por esta razón que para las tres incógnitas de posición (x, y, z transformables en φ , λ ..y la altura sobre el elipsoide WGS84) se agrega una cuarta, que está relacionada con el error del reloj receptor. De allí proviene que existe un requisito para observar simultáneamente al menos cuatro satélites para obtener una posición absoluta en tiempo real.

En el segundo caso la fase de dos frecuencias transportadoras es analizada y la distancia del satélite-receptor puede ser obtenida al comparar la fase de la señal transportadora en el momento de la recepción con la fase de la señal en el momento de la transmisión. En este caso una incógnita adicional para cada satélite observado es introducida. Es la Ambigüedad Integral inicial que es la totalidad de ciclos que la señal ha atravesado desde el satélite al receptor al principio de las mediciones. Entonces para cada satélite de observación nuevo se crea una nueva Ambigüedad, debido a las diferentes distancias. Como resultado, el posicionamiento absoluto en tiempo real con medidas de fase es solamente posible si las Ambigüedades de los satélites utilizados para el posicionamiento se conocen; el procedimiento para este determinación se llama inicialización.

6.1.2.2 Posicionamiento relativo

El propósito del posicionamiento relativo es la determinación del vector de línea base o de las componentes del vector que se forma entre las dos posiciones donde están ubicados temporalmente los dos receptores. Si las coordenadas absolutas de uno de los dos puntos se conoce, agregando los componentes del vector de base-línea, las coordenadas absolutas de la segunda posición pueden ser obtenidas. Estas posiciones pueden lograrse a través del código o fase, aunque en la práctica solo la medida de fase es utilizada. Se puede escribir una ecuación de observación de fase para cada receptor desde un satélite que es observado en un momento dado. Observar el mismo satélite en el mismo momento desde dos diferentes receptores a los extremos de las líneas-base y luego restando una del otro porduce dos ecuaciones de fase, una ecuación para las diferencias simples. Insertando en la observación otro satélite, y agregando la diferencia entre las dos ecuaciones para las diferencias simples, se crea una ecuación para las diferencias dobles. Al final de estas dos operaciones el resultado es la eliminación de los errores del reloj de los dos satélites. En este punto las cantidades desconocidas a ser determinadas son los componentes del vector base-línea y las suma de los cuatri ambigüedades de los dos satélites (considerados como sólo un valor íntegro). Si la señal es interrumpida las ambigüedades cambian y se requiere de una nueva instalación. Finalmente las interrupciones posibles de la señal son separadas a través de la diferencia entre las dos ecuaciones de las diferencias dobles (llamadas ecuación para las diferencias triples) y estableciendo la continuidad, la incógnita “ambigüedad” es eliminada.

6.1.2.3 Posicionamiento diferencial

El posicionamiento diferencial es similar al posicionamiento absoluto pero tiene correcciones para pseudo-distancias en tiempo real o diferido, transmitidos o almacenadas en los receptores puestos en puntos de coordenadas absolutas conocidas. El receptor remoto aplica, en tiempo real o en tiempo de retraso, las correcciones a las mediciones del pseudo-rango o fase afectada y luego calcula la posición absoluta correcta, mejorando la exactitud de las coordenadas.

6.1.3 Rendimiento del sistema y fuentes de error

En relación con los principios de posicionamiento, se clasifican por los diferentes grados de exactitud:

a.	Absoluta (SPS) con mediciones de código C/A en L1:	10 a 30 metros
b	Absoluta (PPS) con mediciones de código P (Y) en L1/L2:	5 a 15 metros
c.	Relativa con mediciones de fase estática:	10^{-8} a 10^{-6} de la base línea

d.	Relativa con mediciones de fase (RTK)	decímetro
e.	Diferencial con mediciones de fase de código (DGPS)	pocos metros
f.	Diferencial con mediciones de fase de la onda portadora (RTK DGPS)	pocos centímetros

Los elementos (fuentes de error) que tienen mayor influencia en el comportamiento del sistema son:

a. *Errores de reloj* de los satélites y receptores (de corrección y marcha);

b. Errores de órbita (imperfecciones en la data efemérides);

c. *Retrasos* durante el pasaje de señal en la atmósfera debido a la refracción de la ionósfera y la tropósfera, cuyos efectos en la señal son considerables debido al uso de receptores de doble frecuencia.

d. *Error troposférico.* La humedad está incluida en este error. La humedad puede retrasar una señal de tiempo por aproximadamente 3 mts. Satelites bajos en el horizonte transmitirán señales a través de la superficie de la tierra con la tropósfera; mientras que aquellas directamente en lo alto transmitirán a través de mucho menos de la tropósfera. Enmascarando el ángulo del horizonte en 15º puede minimizar el error troposférico. En éste se encierran muchos satélites, un compromiso bajo los 10º puede ser necesario. Los fabricantes moldean el retraso troposférico en un software; las pruebas han demostrado que estos modelos troposféricos funcionan razonablemente bien.

e. *Error Ionosférico.* Las manchas solares y otros fenómenos electromagnéticos causan errores en el rango de mediciones del GPS hasta en 30mts durante el día y tan altos como 6mts durante la noche. Los errores no son predecibles pero pueden ser estimados. El error ionosférico se asume como el mismo en el receptor de referencia como en el receptor de la nave. Esta suposición es aplicable para las redes GPS donde las estaciones están separadas por pocas millas naúticas. Los modelos Ionosféricos han sido implementados por los receptores de frecuencia dual.

f. *De Multitrayectoria.* La multitrayectoria es una recepción de una señal reflejada suplantando una señal directa. La reflexión puede suceder por debajo o por encima de la antena. La magnitud de multitrayectoria es menor en el agua que en la tierra, pero está aún presente y siempre cambia. La ubicación de la antena del receptor GPS debe evitar áreas donde la multitrayectoria es más factible de ocurrir (Ej. Afloramientos de rocas, techos de metal, calefacción de techo/aire acondicionado, edificios, carros, barcos, etc.). Aumentando la altura de la antena es un método para reducir la multitrayectoria en una estación de referencia. La ocurrencia de la multitrayectoria en el rango de satélite puede durar varios minutos. El encubrimiento de las señales de satélite del horizonte hasta en 15º reducirá también la multitrayectoria.

g. *Configuración geométrica* de satélites usados por el posicionamiento, dado el GDOP (Dilución de Precisión Geométrica). El GDOP está dividido para este propósito en algunos índices (PDOP y TDOP) que han sido introducidos para establecer un grado de control de calidad. El más general es llamado PDOP (Dilución de Precisión en Posición), inversamente proporcional a las “virtudes” de la configuración, que está dividida en dos componentes con propósitos de control: el vertical o VDOP (Dilución de Precisión Vertical) y el comúnmente utilizado horizontal o HDOP (Dilución de Precisión Horizontal); ocasionalmente la relación HDOP/VDOP es considerada (para control horizontal ver el Capítulo 7);

h. *Errores inducidos,* para reducir el comportamiento de medición de pseudo rango en la posición de los datos de los satélites, pueden introducirse a la discreción de los

administradores del sistema. Dichos procedimientos, llamados Disponibilidad Selectiva (S/A), produjeron una incertidumbre en el posicionamiento a través del cálculo del pseudo rango en el orden de unos 100 metros, esto fue retirado el 1 de mayo del 2000. La operación diferencial puede eliminar el S/A. Aunque con la eliminación de S/A, el DGPS es todavía necesario para la mayoría de aplicaciones de levantamiento hidrográfico.

6.1.4 Seguimiento del GPS y técnicas de adquisición de señal

6.1.4.1 Técnicas de rastreo

Se usan básicamente dos modos generales para determinar la distancia, o el rango, entre un satélite NAVSTAR GPS y una antena receptora de tierra. Estas mediciones están hechas por las técnicas de comparación de fase de señal del satélite. La fase de la onda portadora o la fase de de código digital modulado en la fase transportadora puede ser rastreada para solucionar la distancia entre el satélite y el receptor. La exactitud de posición resultante es dependiente del método de seguimiento utilizado.

Estas son las técnicas de rastreo de dos fases:

- Rastreo de fase portadora
- Rastreo de fase de código

Los satélites GPS realmente transmiten en frecuencias portadoras: L1 en 1575.42 MHz (19 cm de longitud de onda) y L2 en 1227.60 MHz (24 cm. de longitud de onda). Moduladas en estas frecuencias se encuentran las C/A (Coarse Acquisition) de 300m de longitud de onda y el Código preciso P (30m de longitud de onda). Adicionalmente, se transmite un mensaje de navegación por satélite de 50-bps que contiene la efemérides del satélite y el estado de cada satélite. Los C/A y los códigos P están presentes en la frecuencia L1. Sólo el código P está presente en la frecuencia L2. La más alta frecuencia de la señal portadora (banda L) tiene una longitud de onda de 19 y 24 cms., desde la que se puede resolver una distancia con el software de post procesado a aproximadamente 2 mm. El código modulador tiene una longitud de onda de 300 m. y solo rendirá distancias exactas de cerca de 1 m. Ambos métodos de rastreo tienen utilidad en el levantamiento hidrográfico y convencional.

6.1.4.2 Técnicas de adquisición de señal

Los procesos de adquisición tienen características y exactitudes distintos, están relacionados con las aproximaciones distintas de la manipulación de señal. Se describen de la siguiente forma:

a. ***Stand- Alone (Estacionamiento Aislado):*** La posición absoluta de un punto sencillo con pseudo rango en el sistema de referencia geodésico WGS84. La exactitud absoluta, del 95% del nivel de confianza, está entre 10 y 30 metros para el SPS (Servicio de Posicionamiento Estándar) y entre 5 y 15 para el PPS (Servicio de Posicionamiento Preciso). De uso exclusivamente navegacional.

b. ***Diferencial (DGPS):*** Las distintas correcciones, calculadas en una estación de referencia de posición conocida, están aplicadas a la posición absoluta generada por un receptor stand-alone. Estas correcciones de código o de fase, como se describieron anteriormente, pueden ser transmitidas por radio o por celular, cumpliendo con el protocolo RTCM, y aplicadas en tiempo real o guardadas en la estación de referencia y aplicadas durante el post processamiento con el software adecuado. Los rangos y las exactitudes se describen en la siguiente tabla:

Rastreo de Corrección de Rango	**Distancia entre estaciones**	**Exactitud**
Fase de Código	Algunos cientos de kilómetros	Pocos metros

Fase portadora	Casi diez kilómetros	Pocos centímetros

c. ***Relativa:*** Las coordenadas de las puntas de los vectores de base de línea, que conectan las posiciones ocupadas por las estaciones, tienen que ser determinadas. El cálculo se logra al post-procesar utilizando el método de las diferencias dobles, corrigiendo los datos obtenidos en la fase de señal GPS en la base y en el receptor movible. Los métodos principales son:

Técnica	**Aplicación**
Estática	Marco de referencia de exactitud alta
Estática Rápida	Marco de referencia con menor exactitud
Cinemática de parar y continuar	Puntos fiduciarios, levantamiento en detalle
Cinemática continua	Trayectorias, monitoreo continuo

El tiempo de adquisición y el intervalo de muestra (período del ritmo) son los discriminadores en los métodos relativos. El ritmo debe ser un buen compromiso entre la demanda de mediciones y el tamaño del archivo para procesarlos. Por ejemplo, para aplicaciones estáticas con períodos de adquisición largos, es común muestrear con un intervalo de tiempo de 15 a 30 segundos; para las aplicaciones cinemáticas es necesario reducir este intervalo, siempre hacia abajo en 1 segundo. Este valor representa el límite del intervalo de muestreo en muchos receptores; actualmente los receptores pueden hacer mediciones con una frecuencia de 20Hz. Los métodos, técnicas de adquisición y campos de uso se resumen en la siguiente tabla:

Método	**Tiempo de medición**	**Tamaño de las bases**	**Exactitud**	**Tasa (por segundo)**	**Notas**
Estática	>1/2 hora 1 hora de 3 a 4 horas Variante	10 kms 20/30 kms >100 kms.	10^{-6} a 10^{-8} (del tamaño de la base)	15-60	Con doble frecuencia para bases de más de (20 kms)
Estática Rápida	20-30 min. (L1s) 6-8 mins (L2)	< 10-15 kms.	10^{-6} (del tamaño de la base)	5-15	Necesidad de una buena configuración satelital
Cinemática de parar y Continuar	< 1 min	Algunos kilómetros <10 kms.	Centimétrico	1-5	Necesita contacto continuo con la instalación de satélites: -Mas de 30 mins: L1 -5/6 mins: L1+L2 -On the Fly (OTF):L1+L2
Cinemática continua	Continua	Algunos kilómetros	Centimétrico	1-5 (20Hz)	Tal como en el de parar y continuar.

6.1.5 DGPS

El posicionamiento diferencial GPS (GPS Diferencial = DGPS) es una técnica en la que se usan dos o más receptores; uno en una estación de un marco de referencia geodésico o topográfico (Estación de Referencia) y una (Estación Vagabunda) que ocupa los nuevos puntos a ser determinados en un vector de medida (en reposo o en movimiento). La estación de referencia calcula las Correcciones del Pseudo- Distancias o Pseudo-Rango (PRC) y sus variaciones en tiempo (RRC: Corrección de Tasa de Rango). Ambas correcciones pueden ser transmitidas en tiempo real en el receptor remoto de la estación móvil o pueden ser guardados en el receptor de la estación de referencia a ser aplicada en el procedimiento de posprocesado.

Cuando el procedimiento se realiza en tiempo real, se crea una conexión entre las dos estaciones (referencia-móvil) por el módem de radio o el módem de teléfono.

En cualquier caso, el receptor remoto (en tiempo real) o el receptor/PC con el software de posprocesado (en tiempo diferido) aplican las correcciones a las mediciones de pseudo-rangos y calculan las posiciones del punto simple con estas observaciones corregidas.

El posicionamiento diferencial puede aplicarse al código de rango o de fase.

6.1.5.1 DGPS con mediciones de código

Desde una serie temporal de correcciones pseudo distancias PRC, las correciones a aplicar PRC se pueden obtener por interpolación numérica.

La corrección de distancia obtenida por código, para un período arbitrario **'t',** puede ser aproximado con lo siguiente:

$$PRC_t^{satel} = PRC_{t_0}^{satel} + RRC_{t_0}^{satel} \cdot (t - t_0) \qquad \textbf{(2.64)}$$

Donde el período **$(t - t_0)$**, llamado latencia, es el determinante para la precisión del posicionamiento. Esto no es más que la diferencia de tiempo entre el cálculo de corrección en el receptor de la estación de referencia y su aplicación (tiempos de transmisión, cálculo, etc) en el receptor de la estación móvil.

Al aplicar estas correcciones de rango, los errores del reloj del satélite desaparecen de las ecuaciones de las mediciones de distancias (rangos). El efecto perturbador posible, causado por una degradación deliberada de los relojes y de los datos de las órbitas puede ser virtualmente eliminado. De manera similar otros efectos problemáticos como la refracción ionosférica y troposférica.

Por lo tanto, la posición del receptor remoto se calcula con el pseudo-rango de código corregido. Esta corrección puede ser transmitida o guardada con un protocolo estándar RTCM y la técnica se llama RTCM Diferencial GPS.

Las correcciones del pseudo-rango pueden ser transmitidas al receptor GPS por:

- Estación de Referencia GPS del receptor situado temporalmente en el punto de control horizontal dentro del área de estudio o desde una estación permanente, con un MODEM por radiofrecuencias (UHF/VHF/HF) o por las técnicas telefónicas (GSM/Satélite);

- Sistema Diferencial de Área Amplia GPS de pago-por-servicio comercial, usando las técnicas de predicción satelital para entregar correcciones GPS exactas, por ejemplo los sistemas de Área Amplia OmniStar (grupo FRUGRO) y LandStar (grupo THALES);

- Servicio gratuito por un Servicio de Navegación de radiofaro DGPS MSK (Sistema IALA de faro DGPS);

- Servicio gratuito por el Servicio de Satélite de Sistemas de Aumento de Área Mundial (FAA WAAS, EGNOS, GPS/GLONASS, MSAS).

Dichas técnicas proveen resultados apropiados para el rápido geo-referenciamiento de detalles significativos en la tierra.

6.1.5.2 DGPS con mediciones de fase

En esta técnica de satélite los errores de reloj y los errores asociados con una relación ionosférica y troposferita son eliminados. La corrección de distancias (rango) puede ser transmitido en tiempo real por el receptor de la estación de referencia al receptor de la estación vaga a través de un protocolo RTCM o a través del formato apropiado de los fabricantes de receptores. El DGPS con mediciones de fase es usado en aplicaciones cinemáticas de precisión en tiempo real: estas técnicas se llaman RTK (Cinemáticas de Tiempo real). El propósito es que el tiempo de latencia sea removido o que en la práctica muy reducido (pocos milisegundos).

6.1.6 RTK

En esta técnica los errores del reloj del satélite y los errores asociados con la refracción de la ionosfera y troposfera son eliminados. La corrección del rango de la fase puede ser transmitida en tiempo real por el receptor de la estación de referencia a la estación móvil a través del protocolo RTCM o a través de un formato apropiada del fabricante del receptor. DGPS usa mediciones de fase en aplicaciones cinemáticas de precisión en tiempo real, tales técnicas son denominadas RTK (Cinemática en Tiempo Real). El objetivo es remover el tiempo de latencia o en la practica reducirlo mucho (unos pocos milisegundos).

Usando los receptores en el modo RTK, las medidas generadas en la señal GPS de la fase portadora son utilizadas para lograr exactitudes centimétricas.

La inicialización automática llamada OTF (On The Fly), es una característica común de los receptores capaces del modo RTK, para el que ambos sistemas de referencia y móviles necesitan al menos cinco satélites en común a la vista simultáneamente. Este proceso consiste en resolver la fase de ambigüedad, que se presenta en la obtención de distancias (rango) mediante la medición de fase y retira las restricciones en el movimiento de los receptores en movimiento durante el proceso de inicialización, que dura no más de pocos minutos. Inicialmente el receptor móvil produce una solución flotante o FLT con exactitud métrica (la fase de ambigüedad no está fija). Cuando la inicialización se completa, la solución se vuelve un tipo FIX y la exactitud se vuelve centimétrica.

El número de posiciones de tipo FIX por segundo, producidas por el sistema RTK (ritmo actualizado), define con que exactitud la ruta de un receptor móvil puede ser representada. La tasa actualizada se mide en Hertz y puede alcanzar valores de 20 HZ para algunos receptores modernos.

El tiempo de latencia o Latencia es el período de tiempo entre las mediciones afectadas por los receptores (de referencia o móviles) y la visualización de la posición en los receptores móviles (incluyendo los tiempos de medición, formateo y transmisión de datos desde la referencia al móvil y el cálculo de la solución FIX); este parámetro es muy importante para la guía del vehículo en movimiento.

Un vehículo que viaja a 25 Km/hr cubre por ejemplo 7 metros por segundo. Para éste, la latencia debe ser menor a 1/7 (=0,14) de un segundo para obtener posiciones con la exactitud de menos de un metro.

La transmisión de los datos desde la estación de referencia, posicionada dentro del área de estudio o desde una estación permanente, para el móvil por un MODEM de radio o MODEM GSM, ha sido estandarizada de acuerdo al protocolo internacional llamado RTCM (Radio technical Comisión for Maritime service). Los mensajes en este formato también existen en ritmos más lentos de 2400 baudios (Ejemplo: CMR; Compact Measurement Record).

6.1.6.1 Modo de posicionamiento RTK

Los receptores GPS más comunes con la habilidad RTK tienen cuatro modos de posicionamiento principales:

a. RTK Sincronizado (1Hz): es la técnica más usada para lograr exactitudes centimétricas entre la estación de referencia y la estación móvil. Típicamente la tasa actualizada es de 1HZ. La latencia de las posiciones sincronizadas (FIX) es determinada en gran parte por la transmisión de los datos, con una transmisión de 4800 baudios lo consigue en aproximadamente un segundo. La solución RTK sincronizada produce la exactitud más alta posible para los modos RTK y se adapta bien a las aplicaciones dinámicas.

b. RTK Sincronizada Rápida (5 a 10 Hz): tiene la misma latencia y exactitud del modo anterior, pero las soluciones de posicionamiento son producidas de 5 a 10 veces cada segundo. Resultados satisfactorios son obtenidos cuando es conectada al menos 9600 baudios.

c. RTK de latencia baja: permite exactitudes centimétricas (un poco inferior al modo RTK de posicionamiento sincronizado) casi instantáneamente debido a la reducción de la latencia a casi 20 milisegundos, que permite 20 soluciones FIX cada segundo. La técnica, aprovechada para la caída drástica de la latencia, se basa en la predicción de la fase de los datos de la estación de referencia, que generalmente tiene una solución continua con variaciones independientes de las pérdidas de señal, movimiento de satélite, marcha del reloj y retraso atmosférico. Entonces, los errores en predicción de medición de fase de la estación de referencia desde la estación móvil están influenciado principalmente por la inestabilidad en los relojes del receptor y por las variaciones inesperadas en las órbitas satelitales.

d. La línea-base del RTK en movimiento: diferente a la mayoría de las aplicaciones RTK, en las que la estación de referencia está fija a un punto de coordenadas conocidas, esta técnica usa pares de receptores (de referencia o móviles) ambos en movimiento. Este modo depende de la determinación de la orientación de un móvil en el que los dos receptores RTK están posicionados en los dos extremos de la línea base (Ej. A lo largo del eje de la quilla de un bote). El receptor de la estación de referencia transmite las mediciones efectuadas al móvil, que calcula una solución RTK sincronizado (la línea base con orientación y longitud) en 1 ó 5 ó 10 Hz, con exactitud centimétrica. La posición absoluta de la estación de referencia, y de hecho la estación móvil también, tiene un equivalente de exactitud al del posicionamiento absoluto con mediciones de código (algunos de diez metros aproximados). La distancia de referencia-móvil no debe ser mayor a 1 km. para obtener buenos resultados.

6.1.7 Tratamiento de los datos

6.1.7.1 Proceso de computación en el posicionamiento relativo GPS

El posicionamiento relativo GPS se realiza de acuerdo a varias fases en las que se utilizan todas las cantidades diferenciales que han sido analizadas. Normalmente comienza con una solución aproximada que es mejorada por varios procesos.

En todos los programas de proceso de data GPS están las fases básicas del tratamiento preliminar para buscar los salto de ciclo y para encontrar datos anómalos asociados con los errores toscos. Un tratamiento preliminar bueno de los datos es la base de una buena solución final. Un levantamiento GPS puede ser descrito de muchas formas; puede ser ejecutado con dos o más receptores, otorgando más sesiones y días a las mediciones.

El acercamiento más común (base simple) incluye las bases independientes sin considerar sus correlaciones. Dicha estrategia es aprovechada por la mayoría de los programas de procesado, ya que produce buenos resultados alineados con una gran simplicidad. Como en todos los programas de computación, con una aproximación lineal para mínimos cuadrados, es necesario salir de los valores aproximados. Estos se mejoran poco a poco por el procesado. Las principales fases del tratamiento son:

a. *Solución de punto asilado con mediciones de código:*
   La solución aproximada es deducida con los pseudorangos en el código C/A (Coarse/Acquisition o Clear/Access) o código P (Preciso o Protegido) si está disponible.

b. *Determinación de la red a través de diferencias simples de la fase:*
   Es necesario decidir cuales líneas de base independientes están consideradas en el proceso. Para lograr esto es necesario crear las diferencias simples entre los archivos de los datos correspondientes a los puntos de las estaciones entre los que se decidió calcular las líneas de base.

c. T*ratamiento de los datos con las ecuaciones para las diferencias triples (Solución TRP):*
   Comenzando por las coordenadas aproximadas producidas previamente, es esencial determinar los componentes $(\Delta x, \Delta y, \Delta z)_{TRP}$ del vector de línea de base en el sistema de referencia geocéntrica WGS84, sin necesariamente tener el conocimiento de la ambigüedad de la fase. Las soluciones tienen algunas desventajas, como la propagación secuencial de errores desde los tres procesos de diferenciación. Como un valor aproximado este resultado, que no representa el óptimo, será insertado en un proceso de computación más avanzado para las diferencias dobles y esencialmente es útil para evaluar los errores de ciclo que, cuando están presentes, causan discontinuidad en el cálculo de los componentes de la línea base.

d. *Expansión para las diferencias dobles y solución con la ambigüedad no fija (solución FLT)*
   Comenzando con la posición de estación, deducida con las tres diferencias, los componentes $(\Delta x, \Delta y, \Delta z)_{FLT}$ del vector de línea base son redeterminados mediante un proceso iterativo, junto con las ambigüedades que corresponden a las diversas combinaciones entre dos satélites con dos receptores. Las combinaciones de las ambigüedades de fase son las únicas incógnitas.

e. *Fijación de las ambigüedades para una valor íntegro:*
   Los valores de las ambigüedades de fase cuando se determinan generalmente no son enteros, deben fijarse por lo tanto al valor entero más cercano. Para hacer esto el programa de computación inspecciona las desviaciones estándar de los parámetros de ambigüedad, verificando que son iguales a las fracciones pequeñas de un ciclo. La fijación correcta de la ambigüedad es indicada por el factor de PROPORCIÓN de calidad. Este valor tiene que ser más grande que ciertos límites en relación a la longitud de las líneas base medidas.

f. *Expansión para las diferencias dobles y la solución con la ambigüedad fija (FIX):*
   Los componentes $(\Delta x, \Delta y, \Delta z)_{FIX}$ del vector de línea base son determinados otra vez, con el conocimiento del período que contiene las ambigüedades de fase, anteriormente fijadas

a un valor entero. Por lo que los componentes Δx, Δy y Δz del vector, que conectan las posiciones en las que se fijan los dos receptores, son las únicas incógnitas para ser resueltas con la ecuación de las diferencias dobles.

Este último pasaje normalmente representa el resultado final del proceso de computación; el acuerdo del sistema de ecuaciones para las diferencias dobles da la solución final del vector de línea base con la ambigüedad fija en el valor entero (Soluciones FIX).

6.1.7.2 Prueba estadística sobre la calidad de la elaboración

La exactitud de los resultados de la calculación de la línea base puede ser valorada se a cuero a la prueba estadística: Las principales son:

a. Prueba de la proporción: esto es la proporción entre los dos valores más pequeños de la variancia (σ^2), calculada desde diferentes grupos de integradores fijos; tiene valor si las ambigüedades de fase han sido determinadas correctamente. El proceso de cálculo generalmente separa más valores integradores de ambigüedad por fase, para ser usados en la solución FIX. Todas las soluciones se calculan con los valores probables de las ambigüedades y el valor relativo de la varianza de la unidad de peso. La proporción es la que corresponde a la segunda varianza más baja con respecto a la mejor (menor) en términos absolutos. Una proporción elevada significa que entre las dos soluciones hay una diferencia considerable o quizás mejoramiento; la reducción del valor de la varianza es un indicativo de una fijación correcta de los valores integrales. Una proporción de valor >1, 5 para medidas estáticas y una proporción de >3 para mediciones cinemáticas se considera como aceptable.

b. Prueba sobre la variancia de la unidad de peso: La varianza de la unidad de peso, fijada de antemano (también llamada varianza de referencia), tiene que ser similar al valor estimado y, dentro de condiciones normales, su relación debe tender a 1. El procedimiento consiste en calcular la varianza de los umbrales a través de una prueba con grados de libertad iguales a la redundancia. Los valores elevados de la varianza estimada pueden resaltar la presencia de ruido en la señal relacionada con los obstáculos de satélites cerca del horizonte, reflexiones múltiples locales (de multi-trayectos), no haber calculado los efectos troposféricos o ionosféricos o el cálculo incorrecto de las ambigüedades de la fase entera.

6.2 Sistemas electromagnéticos

Las características que establecen los comportamientos de un sistema electrónico de navegación son:

a. El alcance, que es la distancia máxima de las estaciones en las que puede ser útil emplearlo. Siendo principalmente atado a la potencia irradiada y a la sensitividad del receptor que compone un problema técnico especifico, enfrentado por la fabricación.

b. La precisión[25] y la exactitud[26] con la que el sistema genera la posición de la nave, que se relaciona a los factores que deben ser apreciados durante el empleo, con el fin de conocer la confiabilidad de las posiciones.

El comportamiento de un sistema, en relación a la exactitud, hace referencia a los dos índices particulares de resultados:

[25] "The degree of refinement of a value" (IHO S32 – fifth edition 1994, . 3987)

[26] "The extent to which a measured or enumerated value agrees with the assumed or accepted value" or "the degree of conformance with the correct value" (IHO S32 – fifth edition 1994, 21 and 3987)

a. Repetibilidad o Exactitud Repetible[27]: es la medición de la capacidad del sistema de regresar repetidamente el móvil a la misma posición. Está influenciado por los errores accidentales de la medición (debido a los operadores, a los instrumentos y a las anomalías de la propagación de las ondas EM) y la geometría del sistema (el ángulo de intersección entre dos líneas de posición – LOPs - individuales).

b. Habilidad de predicción: Es una medida de la capacidad del sistema de navegación electrónica para minimizar el tamaño de la diferencia existente entre las medidas y el estimado de posiciones producido en la base de los cálculos, habiendo fijado un modelo de propagación y la geometría del sistema. En el campo de frecuencias medias y altas, las predicciones para la propagación electromagnética para el propósito de posicionamiento son irrelevantes; está presente con todas sus complicaciones en los sistemas de gran rango, y por ende en las frecuencias bajas.

6.2.1 Exactitud en la determinación de la posición

Cuando la exactitud del sistema de navegación se establece, es apropiado especificar el grado de confiabilidad que puede ser asignado a dicho valor. Aunque la distribución de los errores es más comúnmente elíptica que circular, es más simple verificar sólo un parámetro, generado de los radios de un círculo centrado en el punto determinado.

El navegante tiene el porcentaje del valor de probabilidad (porcentaje x) de estar en dicho círculo. Con el objetivo del intercambio de los datos, es importante aclarar cuál método estadístico fue utilizado en la determinación del comportamiento y también incluir el grado de confiabilidad (o nivel de confianza), expresado como el porcentaje de las pruebas que caen en el círculo de radio determinado.

Para las medidas bi-dimensionales (en las coordenadas horizontales **x** e **y**), los parámetros generalmente tienen dos valores:

a. Error Probable Circular (**CEP):** el radio de un círculo dentro del que hay cerca de un 50% de probabilidad de encontrar el valor correcto[28];
b. El error radial o el error de la raíz cuadrada promedio en la distancia (**1 σRMS** o **1 DRMS**): asumiendo que la igualdad de las desviaciones estándar alrededor de dos dimensiones (σ_x σ_y)[29], de ortogonalidad entre los ejes x y y, de distribuciones de error no correlacionados y normales, la siguiente relación es válida:

$$\mathrm{DRMS} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} = \sqrt{2 \cdot \sigma^2} = 1{,}414 \cdot \sigma \qquad \textbf{(2.65)}$$

Generalmente se emplea la medida de **2DRMS**, lo que corresponde al 98,5% del nivel de confianza.

[27] "En un sistema de navegación, es la medida de la exactitud con la cual el sistema permite al usuario retornar a una posición como está definida sólo en términos de las coordenadas peculiares a ese sistema. La correlación entre las coordenadas geográficas y las coordenadas del sistema pueden o no ser conocidas" (OHI S32 – Quinta edición 1994, 4336)

[28] (ver también error probable: OHI S32 – quinta edición 1994 – 1689)

[29] (ver también error probable: OHI S32 – quinta edición 1994 – 1689)

6.2.2 Líneas de Posición (LOPs)

El limitar las distancias a menos de 60 millas, en el estudio de los sistemas de ondas de navegación, es válido para aproximar a la superficie terrestre horizontal; para distancias más grandes la línea de posición es considerada como un arco de círculo máximo.

Los sistemas más comúnmente usados para la navegación de ondas de radio producen líneas de posición circulares e hiperbólicas que obtienen la posición desde la medida de una diferencia en tiempo Δt o una diferencia en la fase $\Delta\phi$. Tales mediciones son trasladadas en las diferencias de distancias (LOPs hiperbólicos) o distancias directas (LOPs circulares) respectivamente con las relaciones:

$$\Delta d = c \cdot \Delta t \qquad \textbf{(2.66)}$$

$$\Delta d = \frac{c}{f} \cdot \left[\left(\frac{\Delta \varphi}{2\pi} \right) + n \right] \qquad \textbf{(2.67)}$$

Donde

Δd: es la diferencia de la distancia;
c: es la velocidad de la propagación de las ondas electromagnéticas;
Δt: es la diferencia del tiempo medido;
$\Delta\phi$: es la diferencia de la fase medida;
f: es la frecuencia de las ondas en las que la medida es afectada por $\Delta\phi$;
n: es el número de ciclos enteros de la onda receptora.

Un error en la medida de Δt o $\Delta\phi$ aparece como un error en la posición de línea numérica, mientras que una desviación de **c** desde su valor estándar, crea una distorsión en todo el patrón de líneas.

6.2.3 Líneas de Posición de Circulares (CLOPs)

Midiendo la distancia de un punto de coordenadas conocidas es posible determinar la línea de posición, que es un círculo que tiene la posición observada en el centro y en la distancia medida como en el radio. El error en la medida de una distancia influencia y modifica la línea de posición relativa produciendo una banda de incertidumbre, cuyas proporciones (desviación estándar de las medidas de distancia) son independientes de la distancia.

La intersección de dos líneas circulares de posición efectuadas por error produce un área de incertidumbre, dentro de la que está la posición verdadera del móvil. Esta área generalmente tiene la forma de un paralelogramo. Los sistemas circulares están caracterizados por el hecho de que el ángulo de la intersección entre las LOPs varía en el área de cobertura y, en un punto genérico P, es igual a aquella entre el vector de los radios subtendido por P a las estaciones.

En el caso de σ igual para ambos grupos de circunferencias, el error radial dibujado por (2.65) se vuelve entonces:

$$d_{RMS} = \frac{\sqrt{2\sigma^2}}{\text{sen}\alpha} = \frac{1{,}414 \cdot \sigma}{\text{sen}\alpha} \qquad \textbf{(2.68)}$$

Donde α es el ángulo de la intersección entre las dos líneas de posición (LOPs).

Considerando entonces la constante σ en el área de cobertura, es evidente de inmediato que el $\mathbf{d_{RMS}}$ en los sistemas circulares, es enteramente dependiente del ángulo de la intersección entre los LOPs. Las curvas de igual distancia son identificadas, por ende, para aquellos de igual a α**.** Ellos son de los arcos capaces con este ángulo y tiene sus extremos en las dos estaciones.

6.2.4 Líneas de Posición Hiperbólicas (HLOPs)

"Una hipérbola es una curva abierta (línea de puntos en el plano) con dos partes, todos los puntos de los que tiene una diferencia constante en distancias de dos puntos fijos llamados focos" (OHI S-32 – quinta edición 1994- #2353).

Refiriéndose a un sistema cartesiano ortogonal, hay una variedad de rayos simétricos relacionados con los ejes de las abscisas, los ejes de las ordenadas y del origen.

En la navegación hiperbólica electrónica, el segmento del eje de las abscisas incorporado entre los dos focos A y B es llamada la línea base. Dos puntos en un plano pueden ser los focos de la hipérbola los cuales constituyen un patrón de una familia de hipérbolas, con los mismos focos.

En un sistema de hipérbolas de focos compartidos, representando líneas geométricas que se diferencian una de otra por una cantidad constante, se puede observar que:

a. Las hipérbolas cortan a la línea base en intervalos de distancia regulares;
b. La distancia entre las dos hipérboles aumenta con el incremento de la distancia desde la línea base.

En realidad, las líneas de posición obtenibles de un sistema radioeléctrico hiperbólico de navegación. Un par de estaciones de radio sincronizadas ubicadas en los focos hiperboloides, cada una puede acompañarse de una o más estaciones sincronizadas formando una cadena hiperbólica. El observador está en uno de los hiperboloides corvados que son producidos por los dos pares de estaciones de radio. Con las mediciones hechas a bordo, el observador puede determinar su posición identificando las hipérbolas distribuidas sobre las cartas o a partir de las tablas especiales construidas para dicho propósito.

6.2.5 Métodos para determinar líneas de posición de ondas electromagnéticas (EW LOPs)

Una línea de posición (LOP) de una onda electromagnética puede ser producida por la medida directa o indirecta de:

a. La distancia
b. La diferencia entre distancias.

Las medidas que dimensionalmente expresan una distancia son en realidad obtenidas por la transformación de dos posibles y diferentes tipos de medidas:

a. Diferencia de fase;
b. Diferencia de tiempo.

6.2.6 Medidas de diferencias de fase

Las diferencias de distancias o las distancias pueden ser determinadas por la medida de la diferencia de fase.

a. Medidas de distancias:

Considerando A, un punto en la superficie de la tierra por el que las coordenadas son conocidas en un sistema de referencia dado, con una estación que emite una constante onda electromagnética con frecuencia **f** y en un punto genérico **P,** un receptor apropiado capaz de medir la diferencia entre las fases de onda electromagnética tiene, constantemente, el conocimiento de las posiciones de A y P.

Para hacer esto posible, se necesita que el receptor tenga un oscilador de frecuencia estable que genere ondas sincronizadas con la estación emisora.

De esta forma, suponiendo conocidas las condiciones de propagación en el medio que separa la estación del receptor, es posible conocer, constantemente, la fase de la onda de radio en la estación A y de hacer una comparación con la fase de la onda de radio entrante en el receptor.

De la medición de esta diferencia de fase es posible obtener la distancia entre la estación transmisora y el receptor a menos múltiplos de 2π (o de 360^{o}). La posición de línea relacionada a la tierra es representada por la circunferencia teniendo A en el centro y la distancia calculada para el radio.

Definiendo una senda (o “lane” o corredor o pasillo) como el espacio entre dos LOPs con una fase de diferencia de 360^{o}, en este caso se representa por el área circular entre las dos circunferencias. Por lo que, comenzando por la estación de transmisión, cada punto es igual al alcance de las ondas correspondientes a la línea de cruce con una anchura igual al alcance de la onda.

Los errores de medición se expresan en centilanes o cels (centésimo de corredor o senda)

b. Medidas de diferencia de distancias:

Dado que A y B son transmisores de onda de radio de la misma frecuencia, colocadas en puntos sobre la superficie de la tierra con coordenadas conocidas; en P un receptor capaz de recibir separadamente las señales que vienen de las dos estaciones y de calcular, al mismo tiempo, la diferencia de fase de las dos ondas de radio entrantes. Exceptuando los múltiplos de 2π (o de 360^{o}), dichos valores permiten al receptor obtener la diferencia de las distancias que hay entre las estaciones A y B.

Partiendo de una hipérbola, es la línea de puntos con diferencia constante de distancias de dos puntos fijos (llamados focos) resulta que en cada punto sobre dicha hipérbola será medida la misma diferencia de fase.

Es posible concluir que una medición de la diferencia de fase define una línea hiperbólica de posición.

Un receptor es capaz de medir en una senda solo el valor absoluto de la diferencia de fase, de 0^{o} a 360^{o}, esto envuelve ambigüedad, ya que tal diferencia es positiva por un lado de la hipérbole y negativo por el otro.

Las técnicas apropiadas aseguran que los lados de las hipérboles son siempre positivos. La diferencia de fase es generalmente expresada en centésimo de senda (cels).

La identificación, entonces, de la senda, para la que la diferencia de fase es medida, hace esencial saber la senda en la que el receptor está posicionado cuando se inicializó el trabajo, el propósito es de regular el control especial (contador) que cambia numéricamente los registros de paso de una senda (corredor 0 “lane) hacia una nueva.

6.2.7 Medidas de diferencia de tiempo

Las medidas de diferencia de tiempo abarcan las mediciones de los intervalos temporales delimitados por dos instantes, que son grabados uno tras el otro, y la diferencia entre dos de estos intervalos temporales.

Las dos formas de interpretar esta cantidad, permiten la determinación de dos tipos de mediciones: de distancia y de diferencia de distancias.

a. Medición de distancia

   La distancia es obtenida por la medición del tiempo que pasa entre la transmisión de una estación transmisora de posición conocida en un instante conocido y el instante en el que la señal alcanza el receptor.

   Lo que conecta la medición de este intervalo de tiempo a la distancia es la velocidad de la propagación de las ondas electromagnéticas. Por lo que, la habilidad de predecir las anomalías de propagación define la capacidad el sistema de posicionamiento.

b. Medición de la diferencia de distancias:

   Dos estaciones transmisoras A y B se colocan en posiciones de coordenadas conocidas.

   Los pulsos desde las dos estaciones llegan secuencialmente al receptor, con las apropiadas técnicas, es posible medir la diferencia de tiempo entre la llegada de las señales. Es claramente una función de la diferencia de distancia del receptor de las dos estaciones.

   La medición de la diferencia de tiempo está hecha en ambos lados de la hipérbole, causando una ambigüedad, ya que el receptor no es capaz de establecer cual de los dos pulsos llega primero. Para eliminar esto, la transmisión de los pulsos no es simultánea pero es hecha a intervalos de una cantidad constante (código de retraso).

6.3 Sistemas acústicos

Los sistemas de posicionamiento acústico fueron originalmente desarrollados en los Estados Unidos para apoyar los estudios de investigación submarinos en los 1960s. Desde entonces, dichos sistemas han jugado un rol importante en proveer posicionamiento para cuerpos remolcados, ROVs y en muchas fases de la industria costera de hidrocarburo, desde la exploración inicial hasta el desarrollo del campo de explotación y su mantenimiento. Los más recientes desarrollos y los mejoramientos técnicos también han visto que está siendo usada con propósitos militares.

El posicionamiento acústico es capaz de dar una repetición posicional muy alta sobre un área limitada, hasta en distancias grandes de la costa. Para muchos usuarios la capacidad de repetición es más importante que la exactitud absoluta, aunque con el surgimiento de los GPS y de la tecnología GPS/INS ahora es posible lograr una alta precisión.

Desarrollos de los GPS modernos, como el DGPS, WADGPS, y el RTKGPS pueden haber reducido el uso de los sistemas acústicos en áreas como las operaciones de levantamiento sísmico y seguimiento sísmicos en cadena. Conociendo, Sin embargo, el posicionamiento relativo se equipara (cuando el equipo anclado o posicionado en forma dinámica), en rastreo ROV etc. El posicionamiento acústico sigue siendo una técnica importante. Además, en áreas donde la actividad solar (más pronunciada alrededor del ecuador magnético y en las regiones Polares) puede causar interferencia al DGPS un sistema acústico puede dar un refuerzo útil para el GPS.

Los sistemas de Posicionamiento Acústico miden distancias y direcciones a emisores que están desplegados en el fondo marino o colocados a los ROVs y a los cuerpos remolcados. La exactitud lograda dependerá de la técnica usada, el alcance y las condiciones ambientales. Puede variar de unos pocos metros a unos pocos centímetros.

Los sistemas de posicionamiento acústico, producidos por algunos fabricantes están generalmente disponibles en las siguientes bandas de frecuencia "estándar"

Clasificación	Frecuencia	Rango Máximo
Baja Frecuencia (LF)	8-16 kHz	>10 kms.
Frecuencia Media (MF)	18-36 kHz	2 - 3½ kms.
Frecuencia alta (HF)	30-64 kHz	1500 mts.
Frecuencia Extra alta (EHF)	50-110 kHz	<1000 mts.
Frecuencia Muy Alta (VHF)	200-300 kHz	<100 mts.

6.3.1 Técnicas acústicas

Existen 3 técnicas primarias utilizadas en los sistemas de posicionamiento acústico, de Línea de base Larga, Línea de Base Corta y de Línea de Base Súper o Ultra corta con algunos sistemas híbridos modernos utilizando una combinación de estas técnicas.

6.3.1.1 Método de Línea de Base Larga (LBL)

Los sistemas acústicos LBL proporcionan la fijación precisa en un área amplia al medir desde una nave, un sensor remolcado o un objetivo móvil, a tres o más respondones ubicados en posiciones conocidas del fondo marino. Los respondedores (transponders) son interrogados por un transductor fijado al buque sobre la superficie. Las líneas que vinculan pares de respondedores son llamadas bases o **líneas de base** y pueden variar su longitud de 50 m. hasta 6 km. Dependiendo de la profundidad del agua, la topografía del fondo marino, la frecuencia acústica utilizada y las condiciones ambientales.

El método LBL da control local exacto y alta capacidad de repetición. Si hay redundancia, es decir, 3 o más líneas de posición, la calidad de cada posición fija también puede ser calculada.

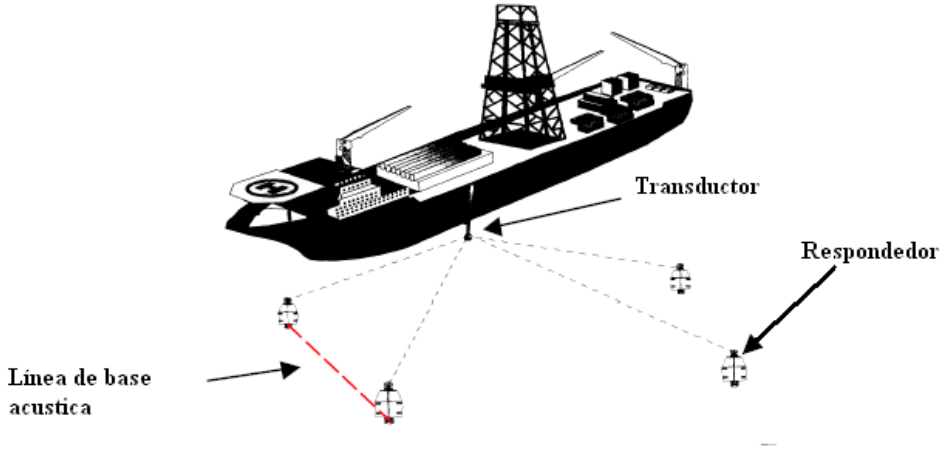


Fig. 2.21 "Medición de Línea de Base Larga"

Calibración de los sistemas LBL

Los reflectores activos del fondo marino no pueden ser fijados o desplegados tan exactamente como los sistemas de base terrestre. Una vez colocados, sin embargo, un patrón de respondedores debe ser fijado relativamente a cada uno y luego vinculados al datum geodésico en uso. Lo último se logra usualmente usando un GPS y el proceso de calibración generalmente cumple tres pasos:

a. Geometría relativa. El posicionamiento relativo es logrado al nominar uno de los respondedores como el origen del arreglo de respondedores desplegados en el fondo marino y define la orientación a un segundo respondedor al determinar la dirección hacia el mismo. Para ello la embarcación navega recorriendo aleatoreamente el área cuidando de cruzar ortogonalmente al menos una vez cada línea, juntando varios grupos de distancias indicadas. Estas distancias pueden ser procesados para fijar las posiciones relativas de los respondedores del fondo marino por la trilateración y ajustes rigurosos.

b. Orientación: El proceso de orientación incluye la navegación con rumbo constante a lo largo de tres trayectorias con separaciones entre 90º a 120º, tomando la posición sincronizada (acústico – GPS) en puntos bien separados a lo largo de cada recorrido. El efecto de la corriente marina es cancelado por las alteraciones de curso y la red es alineada con el norte como lo definen las posiciones GPS o por el girocompás de la nave.

c. Posicionamiento absoluto: Esto es logrado al unir sincronizaciones de posiciones GPS con la red acústica desplegada por las posiciones GPS.

6.3.1.2 Método de Línea Base Corta (SBL)

Los métodos SBL reemplazan las líneas de base largas formadas entre los respondedores del fondo marino con las líneas de base entre los puntos de referencia en el casco de la embarcación en superficie. Ej. El marco coordenado está ahora fijado a la nave en vez de al fondo marino. Tres o cuatro transductores separados por distancias de 10 a 100 metros están acomodados al casco de la nave y conectados a un procesador acústico de la nave.

Los blancos de referencia o posiciones submarinos están marcados con emisores acústicos, las transmisiones de los mismos son recibidos por los transductores montado en el casco. Las señales de retorno – junto con el conocimiento del buque en superficie en la columna de agua – se pasan al procesador central, donde se calcula la separación horizontal entre la nave y el emisor. Así como con el método LBL, las observaciones redundantes son usadas para estimar la calidad de la exactitud de la posición sincronizada.

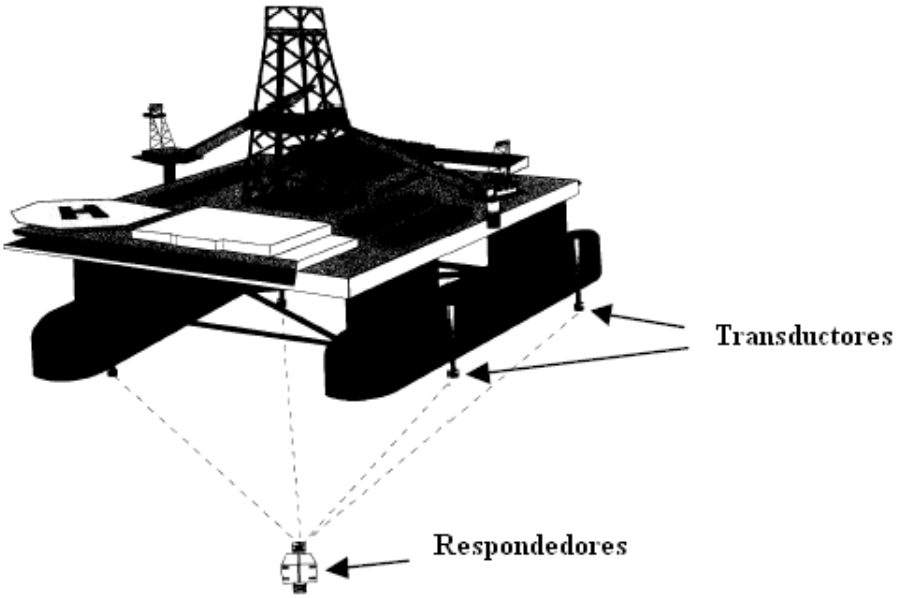


Fig. 2.22 "Medición de Línea de Base Corta"

La posición de los respondedores a bordo de la nave puede ser determinada exactamente durante la instalación. La dirección de la nave y las mediciones de cabeceo y bandeo tienen que ser hechas durante la operación y como siempre se requiere un buen conocimiento de la velocidad del sonido.

6.3.1.3 Método de Línea de Base Ultra o Súper Corta (USBL o SSBL)

En el sistema USBL los 3 ó 4 respondedores montados en el casco de un sistema SBL se cambian por una unidad de casco sencilla que comprende un arreglo de transductores. Las técnicas de comparación de fase son utilizadas para medir el ángulo de llegada de una señal acústica en los planos horizontal y vertical. Entonces, un emisor aislado localizado en el fondo marino o en el objetivo móvil (Ej. Un cuerpo sonar remolcado) puede ser fijado al medir su distancia y orientación con respecto al blanco.

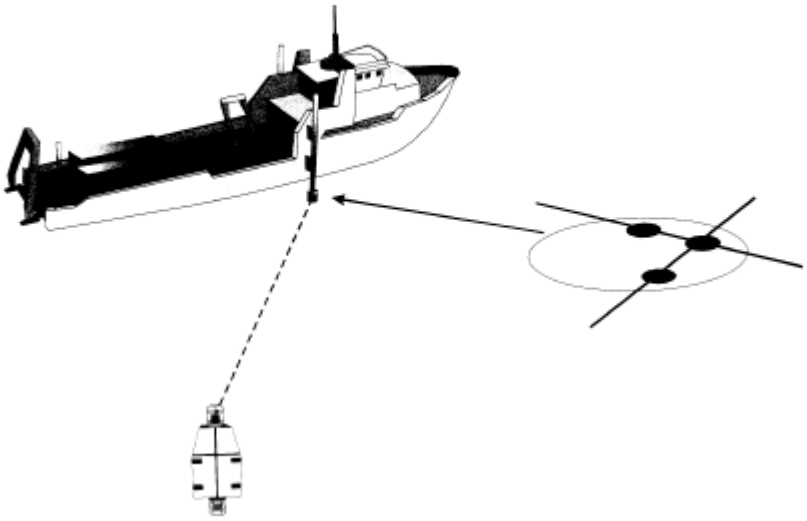


Fig. 2.23 "Medición de línea de base ultra corta"

El método USBL provee una referencia posicional simple para embarcaciones dinámicamente posicionada (DP) y también es conveniente para rastrear cuerpos remolcados y ROVs.

Aunque son más convenientes de instalar, un transductor USBL requiere del ajuste y calibración cuidadosos. Se requiere de una referencia de compás y la medida de soporte debe ser compensada para permitir que el cabeceo y el bandeo de la embarcación y por los efectos de refracción en la columna de agua. Al contrario de los métodos convencionales LBL y SBL, no hay información redundante en los sistemas USBL estándar desde los que la exactitud de posición puede ser estimada y la exactitud es normalmente fijada entre 0.5 y 1% del máximo de las distancias inclinadas medidas.

6.3.1.4 Sistemas combinados

Estos sistemas combinan los beneficios desde los métodos antes descritos para dar una posición muy confiable con un buen nivel de redundancia. Los sistemas combinados vienen en algunas variedades:

- Línea de base larga y ultra corta (LUSBL)
- Línea de base larga y corta (LSBL)
- Línea de base corta y ultra corta (SUSBL)
- Línea de base larga, corta y ultra corta (LSUSBL)

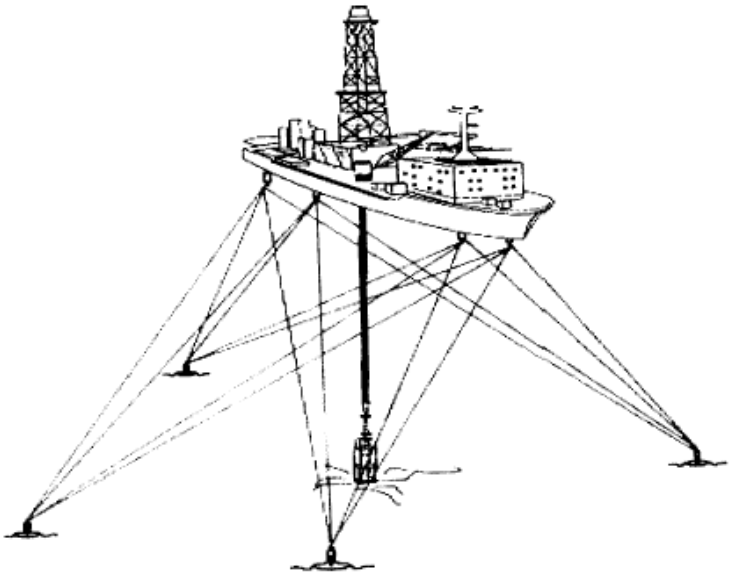


Fig. 2.24 "Sistema combinado (LSUBL)"

6.3.1.5 Sistemas multi-usuario

Los sistemas de multi usuario se requieren cuando más de una embarcación está trabajando en proximidad cercana y desea usar el mismo sistema acústico, ej., una nave de perforación en un campo petrolero puede tener una chalupa de construcción, una chalupa de bomba y una nave soporte ROV en el mismo lugar, todas en la estación sostenida para fines de Posicionamiento Dinámico (DP). Esto quiere decir que es significativa la posibilidad de "contaminación acústica". Las siguientes soluciones a este problema están operativas o bajo desarrollo (2004):

- Sistemas de interrogación de emisor "Maestro" aislado en el fondo marino.
- Embarcación de superficie maestra con sincronización de radio telemetría para otras embarcaciones.
- Más canales dentro de la misma banda a través de las técnicas de procesado de señal.
- El uso de diferentes bandas de frecuencia para operaciones diferentes.

6.3.2 Principios de medición

Medición de Distancia

a. Si el rango de inclinación (R) está determinado al interrogar un respondedor y θ se conoce entonces:

$$R = \frac{ct}{2}$$ y la distancia horizontal (Y) se puede determinar por $Y = R\,sen\theta$

b. Si el respondedor es reemplazado por un emisor (pinger) inteligente, la distancia de inclinación directa no puede ser obtenido y la profundidad debe ser conocida para calcular la distancia horizontal: $Y = D\,tan\,\theta$.

c. El conocimiento del buque de superficie (VS) (c) permite que θ sea determinado al medir las diferencias en tiempo de llegada de las señales entre los hidrófonos 1 y 2 (Fig. 2. 25 y 2.26). Por lo que la medición angular entre un transductor/hidrófono y un emisor puede ser determinada.

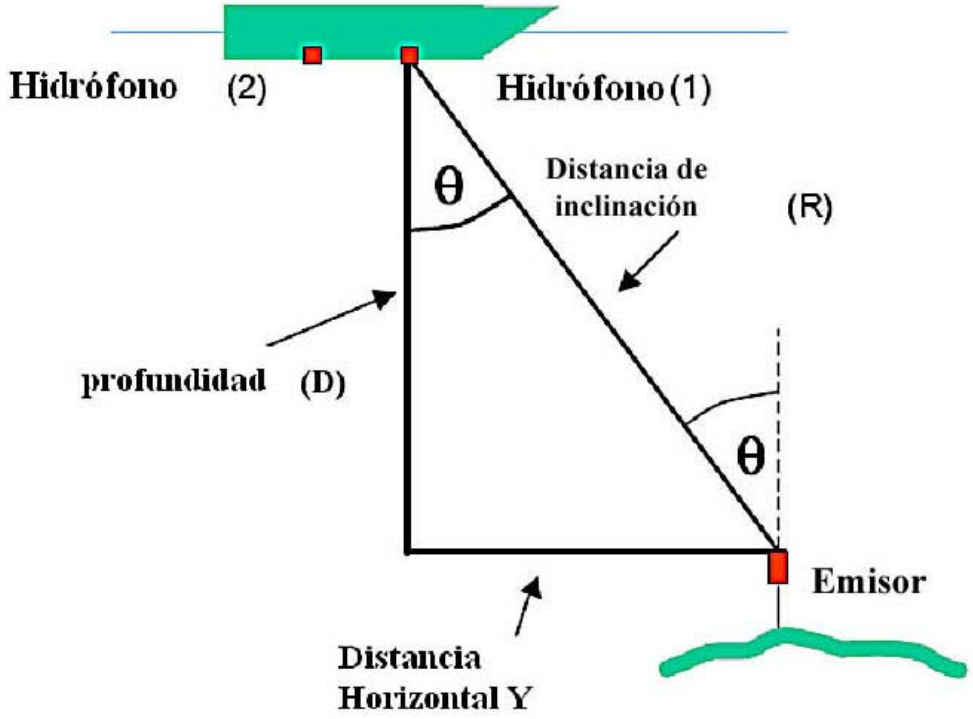


Fig. 2.25 "Determinación de la Distancia"

Medición Angular

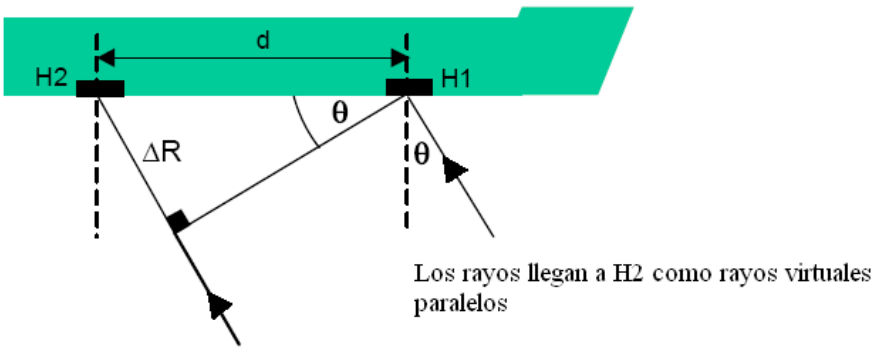


Fig. 2.26 "Medición angular"

- La Velocidad de Sonido dada es conocida $\Delta R = c\Delta t$ y $\text{sen}\theta = \frac{c\Delta t}{d}$

Donde	c	=	Velocidad del Sonido
	Δt	=	Diferencia del tiempo de llegada de la señal a H1 y H2
	d	=	Distancia entre los transductores/hidrófonos

- Un tercer transductor montado sobre una línea perpendicular a H1 y H2 permite determinar el rumbo hacia el emisor.

- Cuando una embarcación está directamente sobre un respondedor, dos hidrófonos en el mismo eje reciben señales en fase. Esta es una técnica usada en posicionamiento dinámico, donde cualquier cambio en la estación es percibida por señales que llegan fuera de fase.

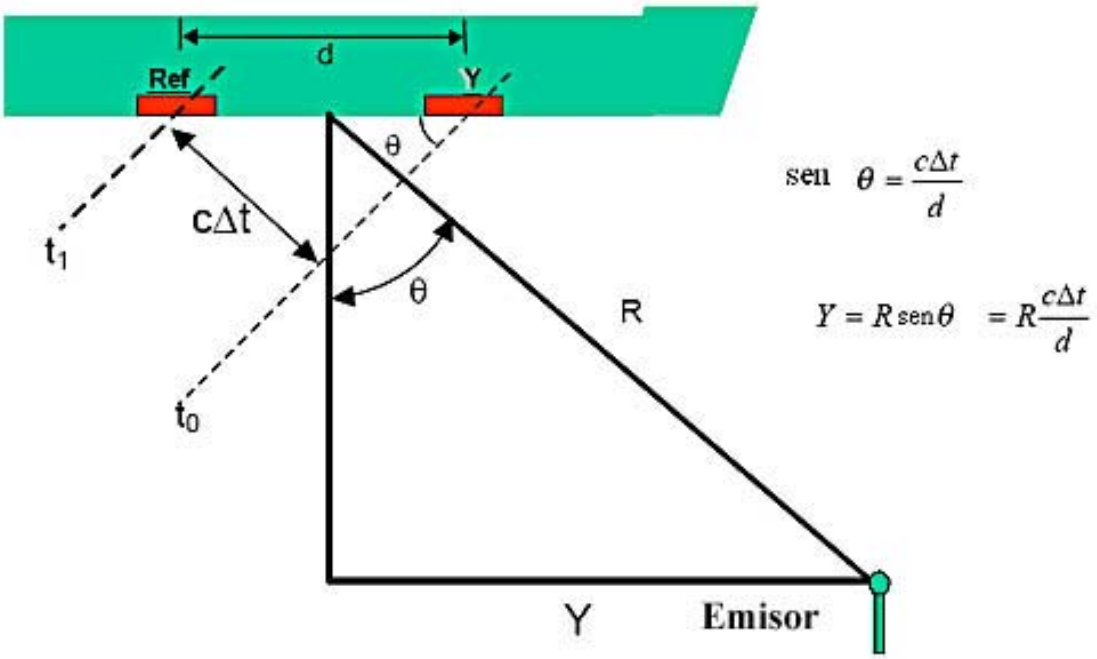


Fig. 2.27

Cálculo de posición de dos planos

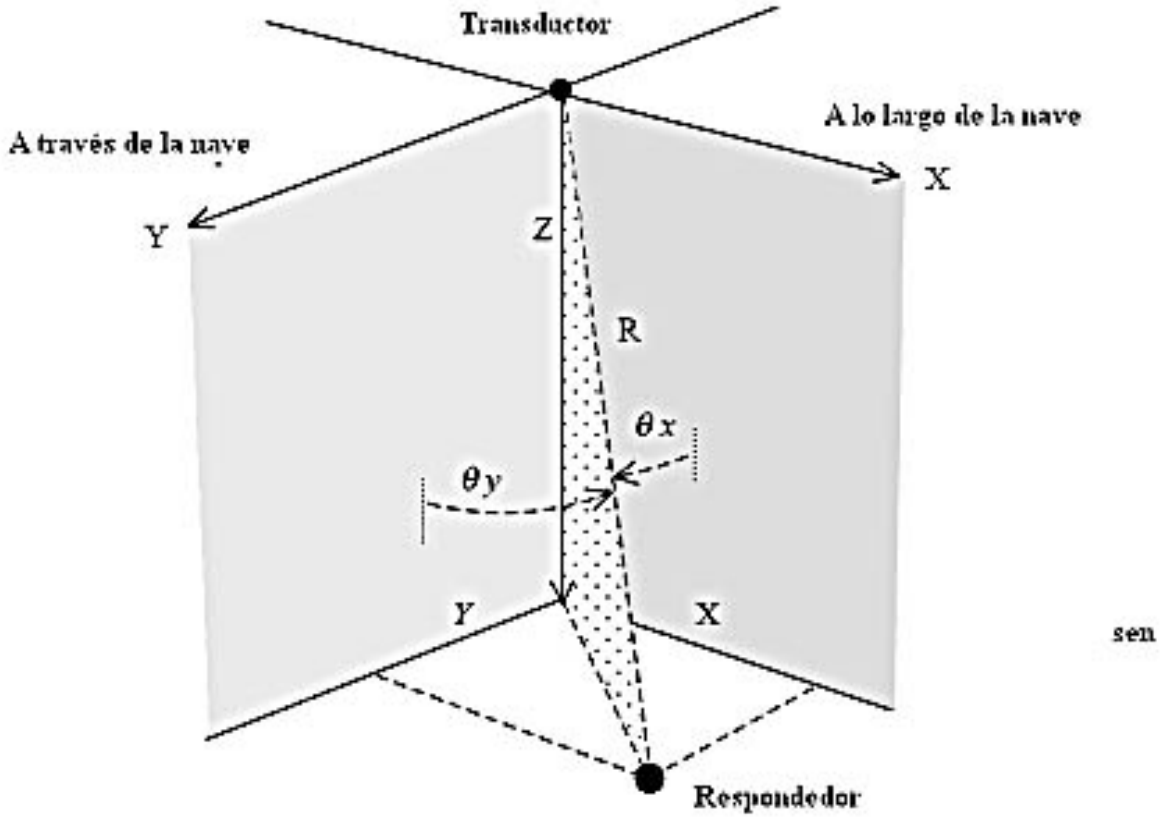


Fig. 2.28

X = R sen θx Y = R sen θy y por lo tanto $z = R(1 - \text{sen}^2\,\theta y - \text{sen}^2\,\theta x)^{1/2}$

Nota: La posición aparente requiere el ajuste para:

a. Cabeceo y bandeo.
b. Alineamiento del hidrófono (en la instalación).
c. Compensación del hidrófono (cantidad fija).
d. Compensación del respondedor (cantidad fija).

La coordenada Z es calculada por los datos acústicos, por lo tanto la información de profundidad puede ser usada para mejorar la exactitud de la posición bajo condiciones de inclinación termal. La exactitud de posicionamiento es considerada ser mejor que 1% de rango inclinación.

6.3.3 Exactitud y fuentes de error

La exactitud total de una indeterminación circular dependerá de

a. La exactitud con la cual está establecida la posición del arreglo de respondedores con respecto al datum geodésico.

b. La determinación y la supresión de los efectos polifásicos (reflexiones). Esto se nota particularmente en la región de las estructuras fijas como las plataformas de producción y es peor para los sistemas SSBL y SBL que para los sistemas LBL.

c. La exactitud de la determinación de la velocidad del sonido, gradiente de velocidad y valor de la refrección.

d. La frecuencia usada. La exactitud aumenta cuando la frecuencia aumenta pero a expensas del rango y de la potencia necesitada.

e. La indeterminación de la geometría y hasta cierto punto de la topografía del fondo marino, Ej. Si hay o no "una línea de visión" entre los respondedores.

f. La sofisticación del sistema de procesado y del software usado.

g. Los errores en la medición de tiempo debiendo a la presencia del ruido en las señales recibidas. El ruido puede ser:

- Ruido del Ambiente (NA): Olas, viento, lluvia, vida marina.
- Ruido propio (NS): Propulsión, maquinaria, corriente
- Ruido de reverberación (NR): Volumen de reverberación, superficie marina, estructuras del fondo marino.

La señal para el promedio de ruido (SNR) = E-N

Donde $E = SL - TL$
$N = 20Log_{10}NT$

y $NT = (NA^2 + NS^2 + NR^2)^{1/2}$

6.3.3.1 Estructura de la velocidad del sonido

El mar no es un medio uniforme e isotrópico por lo que la velocidad del sonido en el agua es afectada por cambios de temperatura (factor dominante), la salinidad y la profundidad. El valor principal de SV (Velocidad del sonido) en el mar aumentará aproximadamente como sigue:

En 4½ m/s para cada 1°C de aumento en la temperatura.
En 1.21 m/s para cada parte por mil de aumento de la salinidad.
En 1 m/s para cada 60 metros de aumento en la profundidad.

Todos los sistemas requieren de un conocimiento preciso del promedio de la velocidad del sonido preferiblemente el conocimiento del perfil de velocidad (SV). Esto es usualmente obtenido al usar una sonda TSD (Temperatura, Salinidad, Profundidad) independiente o un perfilador de velocidad.

6.4 Técnicas ópticas

Los siguientes párrafos contienen solamente un resumen corto de los métodos tradicionales empleados en la draga, y en levantamientos de canal y puerto. La mayoría de ellos no se utiliza más debido al empleo de las técnicas de GPS diferenciales, sin embargo son aún válidos. El capítulo 7 contiene una explicación más detallada de estos métodos para el levantamiento hidrográfico.

6.4.1 Posicionamiento por línea de referencia (Sondeo de cable)

El estudio de sondeo con cable es usado cuando se carece de otros sistemas; se necesita una línea de etiqueta mantenida en tensión desde un operador quien mantiene el extremo del cable anclado en la playa.

En la nave otro operador desenrollará la línea con un remolque, siempre manteniendo la tensión.
Luego, a velocidad baja, la nave comienza la línea de sondeo (generalmente perpendicular a la playa) conducida por un operador que revisa la dirección seguida por unos ángulos fijos planeados en el círculo de reflexión (o sextante) o con otro método visual.

6.4.2 Posicionamiento de resección del sextante (Intersección Inversa)

Este sistema necesita dos operadores con círculo de reflexión (o sextante) en la embarcación.

Ellos miden la diferencia del acimut de los puntos seleccionados durante el planeamiento. Cada posición durante el levantamiento es la intersección entre dos LOPs; un sondeo entonces es asociado a la lectura de dos diferencias de acimut.

6.4.3 Posicionamiento por triangulación/intersección (Intersección directa)

La intersección directa garantiza precisiones más grandes, pero necesita dos operadores en el campo y un sistema confiable de comunicación en la nave.

El primer operador, a través de un sextante o un teodolito, guía la nave a lo largo de la línea, comunicando por radio cualquier ajuste necesario, mientras que el segundo, usando una estación total, determina los ángulos y distancias de la nave en intervalos de tiempo establecidos.

6.4.4 Posicionamiento de distancia-acimut (Sistema mixto óptico y electromagnético)

Es un método que permite generar una posición a través de una intersección ortogonal entre dos Líneas de Posición (LOPs). Un distanciómetro (EDM) y un teodolito (o estación total), que observa la nave, son utilizados para el posicionamiento.

REFERENCIAS

Luciano Surace	*"La georeferenziazione delle informazioni territoriali"1998*	Estratto dal "Bollettino di geodesia e scienze affini", 1998
A. Cina	*"GPS Principi Modalità e Tecniche di Posizionamento"*	Celid, Prima edizione – 2000
L. Costa	*"Topografia"*	Cooperativa Libraria Universitaria – Genova, Prima ristampa – 2001
IHO	*"Hydrographic Dictionary" S–32*	International Hydrographic Organization, Monaco, 5th edition – 1994
IHO	*"IHO Standards for Hydrographic Survey" S–44*	International Hydrographic Organization, Monaco,5th edition – 2008
USACE	*EM 1110-2-1003* *"Hydrographic Surveying"*	U.S. Army Corps of Engineers, Department of the Army, Washington, 1 January 2002
USACE	*EM 1110-1-1004* *"Geodetic and Control Surveying"*	U.S. Army Corps of Engineers, Department of the Army, Washington, 1 June 2002
USACE	*EM 1110-1-1003* *"NAVSTAR Global Positioning System Surveying"*	U.S. Army Corps of Engineers, Department of the Army, Washington, 1 July 2003
USACE	*EM 1110-1-1005* *"Topographic Surveying"*	U.S. Army Corps of Engineers, Department of the Army, Washington, 31 August 1994
NOAA Melvin J. Umbach Rockville, Md.	*"Hydrographic Manual"*	U.S. Department of Commerce National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) National Ocean Service (NOS), Fourth Edition 4th July 1976

Admiralty	"*Manual of Hydrographic Surveying"*	Hydrographic Department Admiralty (UKHO), Vol. I (1965) and Vol. II (1970)
Simo H. Laurila	"*Electronic Surveying in practice"*	John Wiley & Sons, Inc New York (USA), January 1983
Börje Forssell	"*Radio navigation system"*	Prentice Hall International (UK) Ltd, 1991

BIBLIOGRAFÍA

Luciano Surace	*"La georeferenziazione delle informazioni territoriali" 1998*	Estratto dal "Bollettino di geodesia e scienze affini", 1998
A. Cina	*"GPS Principi Modalità e Tecniche di Posizionamento"*	Celid, Prima edizione – 2000
L. Costa	*"Topografia"*	Cooperativa Libraria Universitaria – Genova, Prima ristampa – 2001
Romagna Manoia G.	*"Manuale di Idrografia per la costruzione delle carte marine*	Accademia Navale di Livorno, terza edizione – 1949
II 3100.	*"Manuale dell'Ufficiale di Rotta"*	Istituto Idrografico della Marina, Genova, Quinta edizione – 1992 / Prima ristampa – 1998
NorMas FC 1028.	*"Norme di Massima per i Rilievi Idrografici"*	Istituto Idrografico della Marina, Genova, Seconda edizione – 1978
Admiralty	*"Manual of Hydrographic Surveying"*	Hydrographic Department Admiralty (UKHO), Vol. I (1965) and Vol. II (1970)
IHO	*"Hydrographic Dictionary" S–32*	International Hydrographic Organization, Monaco, 5th edition – 1994
IHO	*"IHO Standards for Hydrographic Survey" S–44*	International Hydrographic Organization, Monaco, 5th edition – 2008
USACE	*EM 1110-2-1003* *"Hydrographic Surveying"*	U.S. Army Corps of Engineers, Department of the Army, Washington, 1st January 2002
USACE	*EM 1110-1-1004* *"Geodetic and Control Surveying"* 1st June 2002	U.S. Army Corps of Engineers, Department of the Army, Washington.
USACE	*EM 1110-1-1003* *"NAVSTAR Global Positioning System Surveying"*	U.S. Army Corps of Engineers, Department of the Army, Washington, 1st July 2003
USACE	*EM 1110-1-1005* *"Topographic Surveying"*	U.S. Army Corps of Engineers, Department of the Army, Washington, 31 August 1994

NOAA Melvin J. Umbach Rockville, Md.	*"Hydrographic Manual"*	U.S. Department of Commerce National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) National Ocean Service (NOS), Fourth Edition 4th July 1976
NOAA	NOS Hydrographic Surveys *"Specifications and Deliverables"*	U.S. Department of Commerce National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) National Ocean Service (NOS), March 2003
Luigi Sinapi	*"Lezioni di Idrografia teorica ed operativa"*	Napoli, A.A. 2002/2003
Simo H. Laurila	*"Electronic Surveying and Navigation"*	John Wiley & Sons, Inc New York (USA), 1976
Simo H. Laurila	*"Electronic Surveying in practice"*	John Wiley & Sons, Inc New York (USA), January 1983
Börje Forssell	*"Radio navigation system"*	Prentice Hall International (UK) Ltd, 1991
Alam E. Ingham	*"Sea Surveying"*	John Wiley & Sons, Inc New York (USA), July 1974

CAPÍTULO 3
DETERMINACIÓN DE LA PROFUNDIDAD

1. INTRODUCCIÓN

La determinación de profundidad es una tarea fundamental para un hidrógrafo, lo cual requiere del conocimiento específico del medio, de la acústica submarina, de la variedad de los dispositivos disponibles para la medición de la profundidad, de los sensores complementarios para posición y las mediciones del cabeceo y los procedimientos apropiados para lograr y cumplir con los estándares recomendados internacionalmente para la precisión y cobertura como lo indica la publicación de la OHI S-44 en su Quinta edición.

La sondaleza (o escandallo) y la vara para sondear fueron los primeros métodos usados para medir directamente la profundidad del agua. Sus principios de operación fácil aseguraron su uso continuo por muchos siglos.

Los sistemas acústicos de haz simple, derivados de los sonares militares, fueron un desarrollo importante y han sido usados en los levantamientos hidrográficos desde mediados de 1900.

Durante la última década, el levantamiento hidrográfico ha experimentado un cambio conceptual en la tecnología y metodología de medición de la profundidad. Los sistemas acústicos multihaz (MBES) y los sistemas láser aerotransportadores (ALS) proveen ahora una casi cobertura total del fondo marino y medición de profundidad. La alta densidad de datos y elevados ritmos de adquisición han llevado a un conjunto enorme de datos batimétricos y muchos datos auxiliares o anexos.

La última tecnología en equipos de medición de profundidades fue evaluado por el grupo de trabajo del S-44 preparando la 4a edición en 1988 como sigue:

> ***"Las sondas de haz simple** han alcanzado una precisión sub-decimétrica en aguas poco profundas. El mercado ofrece una variedad de equipos con diferentes frecuencias, ritmos de pulsos, etc., y es posible satisfacer las necesidades de la mayoría de los usuarios y, en particular, las de los hidrógrafos. (…)*
>
> ***La tecnología de las sondas acústicas multi-haz** se está desarrollando con rapidez y ofrece un gran potencial para una investigación precisa y total del fondo del mar, si se usa con los procedimientos apropiados y contando con que la resolución del sistema es la adecuada para la apropiada detección de peligros a la navegación.*
>
> ***El sondeo láser aerotransportado** es una nueva tecnología que puede ofrecer sustanciales aumentos de productividad para levantamientos en aguas poco profundas y claras. Los sistemas aerotransportados láser son capaces de medir profundidades de 50 m o más."*

A pesar de las nuevas tecnologías, las sondas de haz simple (SBES) aún permanecen, en el presente, como los equipos tradicionales usados mundialmente en los levantamientos hidrográficos. Estos ecosondas también han evolucionado de sistemas análogos a sistemas de grabación digital, con precisiones más grandes y con exactitudes más altas y con características específicas que permiten una amplia variedad de propósitos a ser cumplidos. El uso de ecosondas digitales junto con sensores de movimiento, sistemas de posicionamiento satelital (como los GPS) y software para la adquisición de los datos, han sido combinados para optimizar la productividad con las reducciones correspondientes en el personal para operaciones de levantamiento.

Los MBES se han vuelto una valiosa herramienta para la determinación de la profundidad cuando se requiere una cobertura total del fondo marino. Un número en aumento de Oficinas de Servicio Hidrográfico (OSH) ha adoptado la tecnología multihaz como la metodología de oportunidad para recolectar datos batimétricos para la producción de nuevas cartas náuticas. La aceptación de los datos de los ecosondas multihaz para ser usados en las cartas náuticas publicadas es un indicador de confiabilidad creciente en la tecnología. A pesar de sus capacidades que impresionan, es necesario que los planificadores, operadores y supervisores tengan un conocimiento profundo de los principios operativos de los MBES, así como de la práctica en la interpretación y la validación de la datos.

Los sistemas de sondeo láser aerotransportado son usados por pocas Oficinas de Servicio Hidrográfico (OSH). Estos sistemas tienen, por ahora, las tasas de adquisición de datos más elevadas y están particularmente ubicados cerca de la orilla o en áreas de aguas poco profundas. Sin embargo, los costos elevados de los equipos envueltos en la recolección de los datos y su operación no permiten precisamente un uso más general.

En este Capítulo, la segunda sección cubre los principios acústicos necesarios para el entendimiento de las ondas acústicas en el mar y sus características físicas, la propagación de la onda acústica y los parámetros acústicos. La tercera sección cubre los sensores de movimiento. La sección 4 cubre las características de los transductores, su clasificación con respecto al patrón del haz, los principios de operación y su instalación. La quinta sección describe los sistemas acústicos de ecosondas de haz simple y sistemas de barrido, para sonares multihaz e interferométricos, con respecto a sus características, principios de funcionamiento, instalación, y uso operacional. Finalmente, la sección 6 explica los sistemas no-acústicos, como el sistema láser aerotransportado y los sistemas de inducción electromagnética, los sistemas de sensores remotos, y los dispositivos mecánicos clásicos.

La terminología usada en este siguiente capítulo, sigue, en lo posible, el Diccionario de Hidrografía [OHI SP-32, Quinta edición, 1994].

2. PRINCIPIOS DE LOS SENSORES ACÚSTICOS Y DE MOVIMIENTO

El agua del mar es el medio donde normalmente las mediciones hidrográficas tienen lugar, por consiguiente el conocimiento de las propiedades físicas del agua de mar y de la propagación de las ondas acústica, es importante para comprender totalmente el contenido y el propósito de este capítulo.

2.1 Las ondas acústicas marinas y características físicas

A pesar de que las ondas electromagnéticas tienen una excelente propagación en el vacío y en el aire, éstas con dificultad penetran o se propagan en los líquidos. Sin embargo, las ondas acústicas, bien sea sónicas o ultra-sónicas, logran una buena penetración y propagación en todos los medios elásticos una vez que éstos se pueden hacer vibrar cuando se someten a variaciones de presión. La mayoría de los sensores empleados para la determinación de la profundidad emplean las ondas acústicas.

2.1.1 Campo acústico

Las ondas acústicas consisten en variaciones sutiles del campo de presión en el agua. Las partículas de agua de mar se mueven longitudinalmente, de un lado a otro, en la dirección de propagación de la onda, produciendo regiones adyacentes de compresión y expansión, similares a aquellas producidas por las ondas longitudinales en una barra.

La intensidad de la onda acústica, **I**, es la cantidad de energía por segundo que cruza un área de unidad. La intensidad acústica es dada por:

$$I = \frac{p_e^2}{\rho c} \qquad \textbf{(3. 1)}$$

Donde ρ es la densidad del agua, ***c*** es la velocidad del sonido en el agua y p_e es la presión acústica[30] efectiva, dada por la raíz cuadrada del pico de la amplitud de la presión, **P**, Es decir:

$$p_e = \frac{P}{\sqrt{2}}$$

La intensidad de la onda acústica es calculada usando los promedios de la presión acústica en lugar de los valores instantáneos. La presión acústica y la intensidad, debido a su variación en el rango de amplitud, normalmente son expresadas en escalas logarítmicas referidas a niveles de presión y de intensidad, siendo la escala de decibeles la escala logarítmica más común.

El nivel de intensidad acústico, **IL**, se da por,

$$IL = 10 \log_{10} \frac{I}{I_{Ref}} \qquad \textbf{(3. 2)}$$

Donde $\mathbf{I_{Ref}}$ es la intensidad de referencia.

El nivel de intensidad acústico se expresa alternativamente por,

$$IL = 20 \log_{10} \frac{p_e}{p_{Ref}} \qquad \textbf{(3. 3)}$$

Donde $\mathbf{P_{Ref}}$ es la presión de referencia[31].

2.1.2 Ecuación del sonar

La ecuación del sonar[32] es usada para estudiar y expresar la capacidad de detección y el desempeño de los ecosondas como una función de las condiciones de operación. [Urick, 1975].

La ecuación del sonar para los ecosondas define la señal o detección del eco como el Exceso de Eco (EE),

$$EE = SL - 2\,TL - (NL-DI) + BS - DT \qquad \textbf{(3. 4)}$$

Donde **SL** = nivel de origen, **TL** = pérdida de la transmisión, **NL** = nivel del ruido, **DI** = índice de directividad, **BS** = la fuerza dispersa de retorno del fondo y **DT** = el umbral de detección.

En esta sección, cada término de la ecuación del sonar se presenta y se estudia para permitir un mejor entendimiento de los procesos involucrados en la propagación de señales acústicas y la detección del eco.

La intensidad de la onda acústica $\mathbf{I_r}$ a una distancia **r** del transmisor se obtiene por,

$$I_r = \frac{p_r^2}{\rho c} \ W/m^2 \qquad \textbf{(3. 5)}$$

[30] Pascal (Pa) es la unidad de presión en el Sistema Internacional

[31] En la referencia acústica submarina la presión es normalmente adopta como 1 μPa.

[32] SOund NAvigation and Ranging.

Donde $\mathbf{p_r}$ es la presión efectiva en la distancia **r** desde la fuente y **pc** es la impedancia acústica[33] (Considerando una velocidad del sonido de 1500 m/s y una densidad de agua de mar de 1026 Kg./m^3 la impedancia acústica es $\rho c = 1.54 \cdot 10^6$ Kg./m^2s).

El Nivel de Origen (**SL)** da el nivel de intensidad de la señal acústica en referencia a la intensidad de una onda plana[34] con raíz cuadrada (rms) de presión 1 μPa para el punto localizado a 1 metro de distancia del centro de la fuente (transmisor), o sea:

$$SL = 10 \cdot \log_{10} \frac{I_1}{I_{Ref}} \qquad \textbf{(3. 6)}$$

La Pérdida de Transmisión (TL) toma en cuenta las pérdidas de intensidad acústica debido a la geometría, es decir, de las pérdidas por dispersión, proporcionales a r^2 y las pérdidas debido a la absorción, proporcionales al coeficiente de absorción, dependiendo de las propiedades físicas y químicas del agua de mar y de la frecuencia acústica (ver 2.3.1).

La pérdida dispersa es causada por la geometría del haz con su forma de cono (Fig. 3.1). El aumento en el área resulta en la disminución de la potencia por unidad de área.

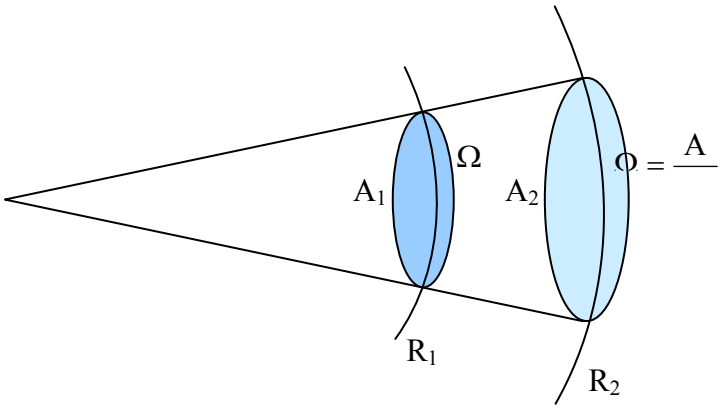


Fig. 3.1 "Pérdida dispersa debido a la geometría del haz"

La potencia, Π**,** del pulso acústico es igual a la Intensidad x Área:

$$\Pi = I_1 \cdot A_1 = I_2 \cdot A_2$$

Donde $\mathbf{A_1} = \Omega \cdot R_1^2$ y $\mathbf{A_2} = \Omega \cdot R_2^2$, siendo **Ω** el ángulo sólido[35]

[33] La impedancia acústica corresponde a la resistencia del medio a la propagación de la onda a través de él. O sea un factor proporcional entre la velocidad y la presión acústica.

[34] Las ondas planas ocurren en una región pequeña lejos de la fuente donde la onda se inicia (los puntos donde las vibraciones están en fase), son aproximadamente planos y tienen cambios insignificantes en la amplitud.

[35] El ángulo sólido, Ω, es el espacio encerrado en una superficie cónica. El valor, expresado en estereorradián (sr), es obtenido como $\Omega = S/R^2$, donde S es la superficie esférica con el centro en el ápice del cono y el radio R.

Por lo tanto, la relación de intensidades es dada por:

$$\frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2 \qquad \textbf{(3. 7)}$$

Si se considera la referencia de intensidad en R1= 1m, distancia en la cual el nivel de origen (SL) es determinado, la proporción logarítmica de las intensidades relacionada con la transmisión de la pérdida debido a la dispersión es:

$$10 \cdot \log_{10} \frac{I}{I_{Ref}} = 10 \cdot \log_{10} \frac{1}{R_2^2} = -20 \cdot \log_{10} R_2 \qquad \textbf{(3. 8)}$$

Entonces la pérdida de transmisión es dada por:

$$TL = 20 \log_{10} r + ar \qquad \textbf{(3. 9)}$$

Donde **r** es la distancia al transductor y **a** el coeficiente de absorción.

El Nivel de Ruido (**NL**) es dependiente del nivel de ruido del espectro ambiental ($\mathbf{N_0}$) y del ancho de banda del transductor durante la recepción (**w**),

$$NL = N_0 + 10 \log_{10} w \qquad \textbf{(3. 10)}$$

El ruido en el océano es generado a través de varias fuentes [Urick, 1975], tales como: las olas, la lluvia, la actividad sísmica, el ruido térmico, los organismos vivientes y los hechos por el hombre...

Además del ruido, también es importante tener en cuenta el efecto combinado de la energía acústica de dispersión de retorno creada por varios cuerpos marinos; estos incluyen las olas superficiales, las burbujas de aire, la vida marina, materiales en suspensión, etc. Esta contribución es conocida como el Nivel de Reverberación (**RL**).

Los transductores normalmente tienen la capacidad de concentrar la energía dentro de una forma cónica (Figura 3.2). Esta propiedad puede ser cuantificada, por la ecuación del sonar, como la razón de la intensidad dentro del haz y la intensidad de un punto de la fuente omnidireccional con el misma energía.

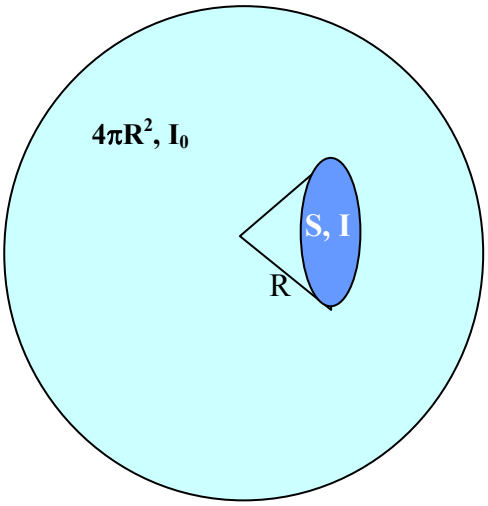


Fig. 3.2 " Superficies sondeadas desde una fuente omnidireccional y una fuente direccional"

La potencia, **Π,** del pulso acústico es igual a la intensidad por el área. Por lo tanto, considerando la misma potencia para las fuentes omni direccionales y direccionales:

$$\Pi = I_0 \cdot 4\pi R^2 = I \cdot S \qquad \textbf{(3. 11)}$$

La razón de intensidades es dada por,

$$\frac{I}{I_0} = \frac{4\pi R^2}{S} \qquad \textbf{(3. 12)}$$

y el Indice de Directividad (DI) se obtiene por:

$$DI = 10\log_{10}\frac{I}{I_{Ref}} = 10\log_{10}\frac{4\pi R^2}{S} \qquad \textbf{(3. 13)}$$

Para un arreglo con longitud, **L**, y una longitud de onda **λ**, (con L >> λ) el índice de directividad (DI) se da por

$$DI = 10 \log_{10} (2L/\lambda) \qquad \textbf{(3. 14)}$$

La energía acústica retornada del fondo es la energía utilizada por los sistemas de sonar, así como los medios remotos por los cuales se deducen algunas propiedades de los fondos del mar. El conocimiento del ángulo del haz y del perfil de la velocidad del sonido en la columna de agua permite obtener la fuerza dispersa de retorno corregida por la absorción y la propagación esférica.

Cada partícula en el fondo marino puede semejarse a un reflector, y el fondo del mar devuelve la suma de las contribuciones de energía de la interfase agua-fondo y del volumen de sedimentos, debido a cierta penetración de energía en los sedimentos. Sin embargo, la contribución del volumen de sedimentos es menos significante cuando se utilizan frecuencias altas.

La Fuerza Dispersa de retorno **(BS)** del fondo marino, normalmente es descrita como la suma logarítmica de fuerza de dispersión de retorno intrínsica por unidad de área o índice de dispersión de retorno (SB), que es dependiente de las propiedades reflectivas del fondo marino y del área de dispersión efectiva instantánea ***A,*** el área del fondo marino que contribuye a la señal de dispersión de retorno:

$$BS = SB + 10 \log_{10} A \text{ dB.} \qquad \textbf{(3. 15)}$$

Los límites del área de dispersión de retorno son definidos por la geometría del haz, particularmente por el ancho del haz (del haz transmitido) a lo largo de la dirección en la incidencia normal o nadir, ϕ_T, y por la ancho del haz (del haz receptor) en la dirección de cruce del nadir, ϕ_R,.

Para las direcciones fuera del nadir, el área de dispersión de retorno es limitada por el ancho del haz, ϕ_T, y por la longitud del pulso transmitido τ (Figura 3.3). La fuerza de dispersión del fondo marino puede ser dada por:

$$BS = \begin{cases} SB + 10 \cdot \log_{10}\left(\phi_T \phi_R R^2\right) & \text{beam width constrict} \\ SB + 10 \cdot \log_{10}\left(\dfrac{c\tau}{2\sin\beta}\phi_T R\right) & \text{pulse length constrict} \end{cases} \qquad \textbf{(3. 16)}$$

Donde **R** es el rango de inclinación desde el transductor al punto en el fondo del mar, **c** es la velocidad del sonido, y **β** es el ángulo del haz con referencia a la vertical.

El coeficiente de dispersión, **SB,** es usualmente dependiente en forma parcial del ángulo de incidencia, la variación más grande ocurre al estar cerca del nadir y típicamente sigue la ley de Lambert [Urick, 1975 y de Moustier, 1993] dependencia a más grandes ángulos de incidencia. Es común definir:

$$SB = BS_N \text{ , para incidencia normal } (\beta = 0^o)$$
$$SB = BS_O \cdot \cos^2 \beta, \text{ para la incidencia oblicua } (\beta > 10\text{-}25^o)$$

Típicamente, BS_N será aproximadamente -15 dB y BS_O será -30 dB. Estos valores pueden cambiar en ±10 dB o más aun dependiendo del tipo del fondo marino y su aspereza.

Revisando la huella del haz (área sondeada), Figura 3.3, el área sondeada instantánea, **A**, es una función del ancho del haz transmitido, ϕ_T. El número de muestras por haz depende del intervalo de muestreo (τ_S).

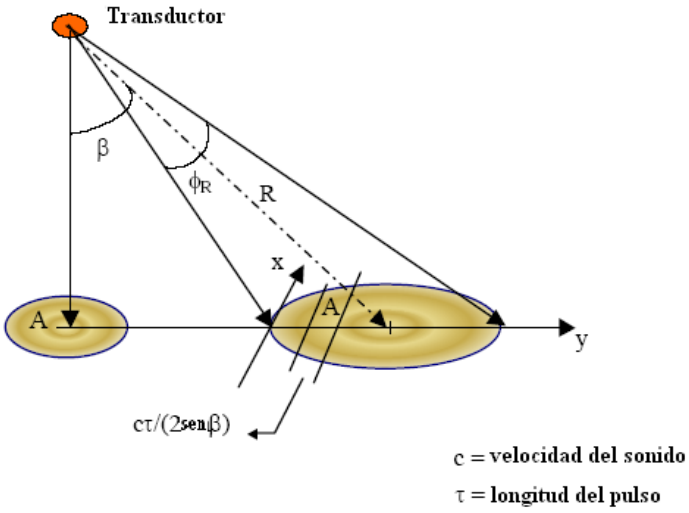


Fig. 3.3 "Muestras de dispersión de retorno"

El Umbral de Detección (DT) es un sistema de parámetros dependientes que establecen el nivel más bajo sobre el cual el ecosonda puede detectar los ecos que retornan.

2.1.3 Temperatura

La temperatura en la superficie del agua de mar varía con la posición geográfica en la tierra, con las estaciones del año y la hora del día [Pickard y Emeryl, 1990]. La distribución de los campos de temperatura es compleja y no puede predecirse con suficiente precisión para los levantamientos hidrográficos; debido a que el comportamiento de la temperatura en la columna de agua es también muy complejo. Tal imprevisto exige una amplia distribución de lanzamientos de perfiles de velocidad del sonido, temporal y espacialmente, para mantener una corriente representativa de los perfiles de velocidad del sonido para el área del levantamiento.

La medición de la profundidad es bastante sensible a las variaciones del perfil de la velocidad del sonido; una variación de un grado centígrado en la temperatura se traduce aproximadamente en una variación de 4.5 m/s en la velocidad de sonido.

La variación de temperatura es el factor dominante para la variación de la velocidad del sonido entre la superficie y el límite más bajo de la termoclina[36], desde allí la presión se convierte en la principal influencia.

2.1.4 Salinidad

La salinidad es la medición de la cantidad de sales disueltas y otros minerales en el agua del mar. Normalmente se define como la cantidad total de sólidos disueltos en el agua de mar en partes por mil (ppt o ‰) por peso.

En la práctica, la salinidad no es determinada directamente pero es calculada desde la clorinidad, la conductividad eléctrica, el índice reflexivo o cualquier otra propiedad cuya relación con la salinidad esté bien establecida. Como un resultado de la Ley de Constancia de Proporciones, el nivel de clorinidad en la muestra del agua marina es usado para establecer la salinidad[37] de la muestra.

El promedio de salinidad del agua de mar es de alrededor del 35 ‰. La tasa de variación de la velocidad del sonido es de aproximadamente 1. 3 m/s por 1‰ de alteración de salinidad. Típicamente la salinidad es medida con un lanzamiento del CTD (conductividad, temperatura, y profundidad) usando la conductividad eléctrica observada, ver 2.2.1.2.

2.1.5 Presión

La presión también impacta significativamente la variación de la velocidad del sonido. La presión es función de la profundidad y la tasa de cambio de la velocidad del sonido es de aproximadamente 1. 6m/s para cada alteración de 10 atmósferas, es decir, aproximadamente 100 metros de profundidad[38] del agua.

La presión tiene una influencia importante en la velocidad del sonido en aguas profundas.

2.1.6 Densidad

La densidad del agua depende de los parámetros previos, o sea la temperatura, salinidad y presión.

Cincuenta por ciento de las aguas de los océanos tienen una densidad entre 1.027,7 y 1.027,9 Kg./m³. La más grande influencia en la densidad es la comprensibilidad con la profundidad. El agua con una densidad de 1.028 Kg./m³ en la superficie tendría una densidad de 1.051 Kg./m³ en una profundidad de 5.000 metros.

2.2 Determinación de la salinidad, la temperatura y la velocidad del sonido

Esta sub sección describe la instrumentación usada para la determinación de la salinidad, temperatura y la velocidad del sonido así como sus principios operativos y el cálculo de la media de la velocidad del sonido.

---

[36] La termoclina es llamada también la capa de la discontinuidad o la capa termal. La termoclina corresponde a la inclinación de la temperatura negativa vertical en algunas capas de la columna de agua, es apreciablemente más grande que las inclinaciones por encima o por debajo de ella. Las termoclinas principales en el océano son estacionales, debido al calentamiento de la superficie del agua en el verano, o permanentemente.

[37] Un comité integrado (IAPO, UNESCO, ICES y SCOR) propuso una adopción universal de la siguiente ecuación para determinar la salinidad desde la cantidad de cloruro: S= 1. 80655 Cl.

[38] Esto se deriva del principio hidrostático, p(z) = p0 + □gz.

2.2.1 Instrumentación

2.2.1.1 Perfilador de la velocidad del sonido es el instrumento más común usado para la medición del perfil de la velocidad del sonido a lo largo de la columna de agua. Este instrumento tiene un sensor de presión para medir la profundidad, un transductor y un reflector a cierta distancia de separación, **d**. La velocidad del sonido se calcula con la ecuación $c = 2d/\Delta t$, donde $\mathbf{\Delta t}$ es el doble del tiempo de viaje de la señal acústica entre el transductor y el reflector (similar a la medición de la profundidad realizada por los ecosondas).

2.2.1.2 CTD es un instrumento electrónico con sensores para la conductividad, temperatura, y profundidad. Este instrumento registra la salinidad por la medición directa de la conductividad eléctrica del agua de mar.

La velocidad del sonido en el agua varía con la densidad y la elasticidad del medio, los cuales son dependientes de la salinidad, temperatura, y la presión. Con la información del CTD (salinidad, temperatura, y presión) es posible calcular la velocidad del sonido en el agua basada en ecuaciones empíricas. Una ecuación simple con precisión adecuada fue presentada por Coppens [Kinsler et al., 1982]:

$$C(Z, T, S) = 1449.05 + T[4.57 - T(0.0521 - 0.00023 \cdot T)] + [1.333 - T(0.0126 - 0.00009 \cdot T)](S - 35) + \Delta(Z) \quad \textbf{(3. 17)}$$

Donde **T** es la temperatura en grados Celsius (ºC), **S** es la salinidad en partes por mil (**ppt**), Z es la profundidad en Km., y $\mathbf{\Delta(Z)} \approx 16.3 \cdot Z + 0.18 \cdot Z^2$.

Esta ecuación es válida para una latitud de 45º. Para otras latitudes, la cantidad **Z** debe ser reemplazada por $Z[1 - 0.0026 \cdot \cos(2\varphi)]$, siendo $\boldsymbol{\varphi}$ la latitud.

2.2.1.3 Termistores son elementos cuya resistencia eléctrica depende de la temperatura, la cual depende de la cantidad de radiación de calor[39] en el mar. Las cadenas de Termistores son usadas para medir la temperatura del agua en varias profundidades a lo largo de la columna de agua. Estas cadenas, normalmente son ancladas, y consisten de varios elementos de termistores, espaciados regularmente a lo largo de un cable. Un grabador registra cada elemento en secuencia y graba las temperaturas como una función de tiempo.

2.2.2 Operación del instrumento

Es importante para una operación exitosa de un perfilador de velocidad de sonido, antes del despliegue, el perfilador debe tener los parámetros correctos almacenados con los estándares requeridos y deben ser calibrados con condiciones atmosféricas correctas para obtener mediciones confiables de la profundidad.

Debe enfatizarse que, durante la calibración de las compensaciones atmosféricas, un perfilador de velocidad del sonido no debe estar en un compartimiento presurizado o la calibración producirá errores en la compensación y por consiguiente, errores en las mediciones de profundidad.

Antes del despliegue o lanzamiento, el perfilador debe estar en el agua durante aproximadamente 15 minutos para su estabilización termal y durante un lanzamiento para medir la velocidad del sonido, se recomienda que se mantenga una velocidad constante de despliegue.

[39] La tasa de radiación del calor es dada por la Ley de Stefan que dice que la tasa de emisión de la radiación del calor desde un objeto es proporcional al cuarto poder de su temperatura absoluta.

2.2.3 Procesado y registro de datos

Los perfiles de velocidad del sonido deben ser editados y analizados cuidadosamente para lecturas de velocidad del sonido y de profundidades anómalas.

En general, los perfiladores de velocidad graban las profundidades y la velocidad del sonido, bajando y subiendo. Los dos perfiles deben ser comparados para confirmar que son similares después de lo cual los perfiles son casi siempre promediados para crear el perfil final, aunque esto no es necesariamente requerido, en cualquier evento las lecturas deben ser comparadas y la información adicional debe ser removida para permitir ordenarla de manera ascendente o descendente.

2.2.4 Cálculo de la velocidad del sonido

Después que el perfil de la velocidad del sonido es validado, puede aplicarse a los trabajos del levantamiento. El cálculo se usa para corregir las mediciones de profundidad con la datos del perfil de la velocidad del sonido.

Para los haces cerca de la vertical, en el caso específico de los ecosondas de haz simple, es suficientemente preciso usar el promedio de la velocidad del sonido a lo largo de la columna de agua. Sin embargo, lejos del nadir, es necesario realizar el trazado de un rayo para tener en cuenta la curvatura del haz debido a cualquier fenómeno de refracción encontrado; este es el procedimiento usado en el MBES (ver 5.2.1.8.1).

Para una señal transmitida verticalmente (i.e., $\theta_0 = 0º$), la media armónica de la velocidad del sonido, $\mathbf{c_h}$ para una profundidad de $\mathbf{z_n}$ es obtenida por:

$$c_h(z_n) = \frac{z_n}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{g_i} \ln\left(\frac{c_i}{c_{i-1}}\right)} \qquad \textbf{(3. 18)}$$

Donde ***gi*** es la constante del gradiente en la capa ***i***, dada por: $g_i = \frac{c_i - c_{i-1}}{z_i - z_{i-1}}$.

2.3 Propagación del sonido en agua marina

Esta sección se enfoca en la propagación del sonido llamada atenuación, reflexión y refracción

2.3.1 Atenuación

La atenuación es la pérdida en la energía de una onda propagándose debido a la absorción, el despliegue esférico y la dispersión por las partículas en la columna de agua.

La absorción es el resultado de la asociación y la disociación de algunas moléculas en la columna de agua; el sulfato de magnesio (MgSO4) es la mayor fuente de absorción en el agua salada. La tasa de absorción es dependiente de las propiedades físicas y químicas del agua marina y de la frecuencia acústica que se transmite. En la figura 3.4 se puede observar que por encima de una frecuencia de 100 kHz el coeficiente de absorción aumenta con el aumento de la temperatura; entonces, se puede esperar que el alcance del sonar variará con la temperatura del agua.

La dispersión esférica es dependiente de la geometría; para un ángulo sólido la energía acústica se propaga en un área más grande a medida que la distancia desde la fuente aumenta.

Ambas pérdidas por la absorción y la propagación esférica son tomadas en cuenta en la ecuación del sonar (ver 2.1.2). Sin embargo, las pérdidas por la dispersión dependen de las partículas o cuerpos presentes en la columna de agua; la dispersión es principalmente causada por los organismos marinos, una mayor fuente del cual es la capa de dispersión profunda (DSL) que consiste en una capa de plancton cuya profundidad varía a través del día.

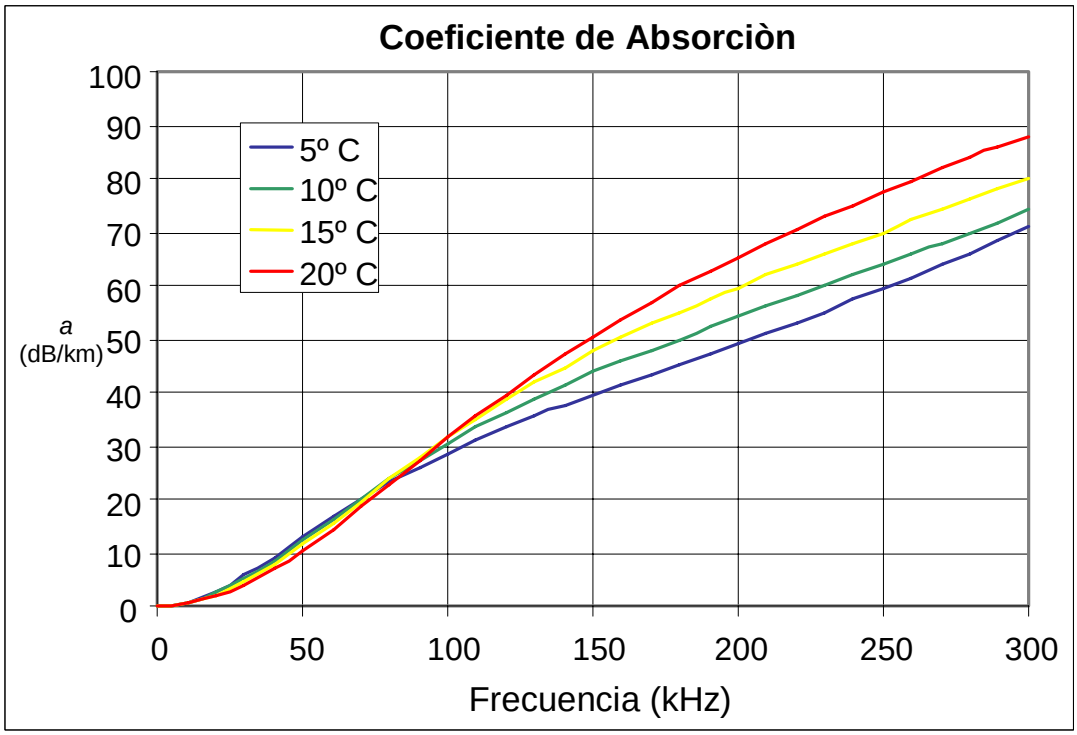


Fig. 3.4 "Coeficiente de absorción"

2.3.2 Refracción y reflexión

La refracción es el proceso en el cual la dirección de propagación de la onda acústica es alterada debido a un cambio en la velocidad del sonido dentro del medio de propagación, o a medida que la energía pasa a través de una interfase, representando una discontinuidad de velocidad del sonido entre dos medios.

De acuerdo a la Ley de Snell y considerando dos medios (Figura 3.5) con velocidades diferentes, **c1** y **c2**, si **c1** es mayor que **c2**, la dirección de propagación de la onda acústica es alterada y el ángulo de transmisión será más pequeño que el ángulo de incidencia. En contraste, si **c1**es más pequeño que **c2**, la dirección de propagación la onda acústica es cambiada y el ángulo de transmisión será mayor que el ángulo de incidencia. Para la incidencia normal no ocurre refracción.

Para la incidencia normal y los fondos lisos, el coeficiente de reflexión[40] para la presión, $\Re$, es obtenida por el coeficiente de la presión de amplitud de la onda reflejada y la presión de amplitud de la presión de la onda incidente [Kinsler et al., 1982].

$$\Re = \frac{P_R}{P_I} = \frac{\rho_2 c_2 - \rho_1 c_1}{\rho_2 c_2 + \rho_1 c_1} \qquad \textbf{(3. 19)}$$

[40] Es posible definir los coeficientes de reflexión por poder e intensidad. Para la incidencia normal el coeficiente de reflexión para poder e intensidad es el cuadrado del coeficiente de reflexión para la presión

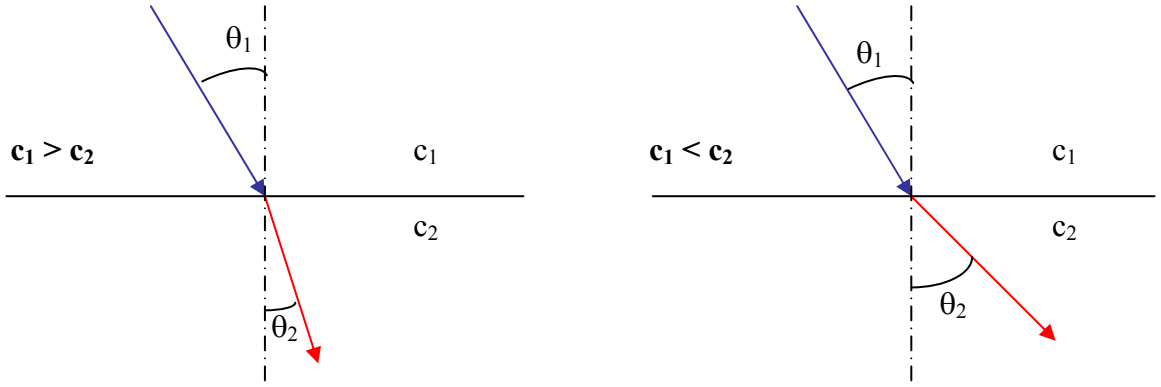


Fig. 3.5 "Principio de la refracción"

Para las condiciones generales, la proporción de la intensidad acústica reflejada y transmitida depende principalmente de:

- Contraste entre las impedancias acústicas de los medios;
- Asperezas del fondo marino
- Frecuencia acústica

2.4 Parámetros acústicos

Las características de un ecosonda son determinadas por los transductores, siendo sus parámetros la directividad, el ancho del haz, la dirección del haz y el nivel de los lóbulos laterales. En esta subsección se analiza cada uno de estos parámetros.

2.4.1 Frecuencia

La frecuencia acústica de los ecosondas es el parámetro que determina el alcance y la penetración del sonido en los sedimentos. La atenuación de la señal acústica en el agua es proporcional a la frecuencia. A más alta frecuencia, mayor será la atenuación y, por consiguiente, será más bajo el alcance y la penetración en el fondo marino.

El ancho del haz depende de la longitud de la onda acústica y del tamaño del transductor. Para haces del mismo ancho las frecuencias bajas requerirán de un transductor más grande.

Las frecuencias de los ecosondas batimétricos son típicamente:

- Aguas con profundidades menores de 100 metros: frecuencias mayores que 200 kHz;
- Aguas con profundidades menores de 1.500 metros: frecuencias de 50 a 200 kHz;
- Aguas con profundidades mayores de 1.500 metros: frecuencias de 12 a 50 kHz;

Las frecuencias de los ecosondas de sedimentos están por debajo de los 8 kHz.

2.4.2 Ancho de banda

Considerando $\mathbf{f_0}$ como la frecuencia de máximo poder de transmisión (frecuencia de resonancia) y $\mathbf{f_1}$ y $\mathbf{f_2}$ como las frecuencias que corresponden a una mitad de ese poder, el ancho de banda es el intervalo de frecuencia entre esas frecuencias (Figura 3.6), es decir, $W = f_2 - f_1$

El factor de calidad del transductor, **Q**, está dado por,

$$Q = \frac{f_0}{W} \qquad \textbf{(3. 20)}$$

De estas definiciones se puede identificar que **Q** y **W** tienen variación recíproca. Por lo tanto, para optimizar el poder de transmisión, el transductor debe transmitir cerca de la frecuencia de resonancia y por consiguiente debe tener un ancho de banda pequeño, es decir, un valor de factor de calidad alto.

Durante la recepción es necesario tener una buena discriminación de ecos de cualquier otra señal. Aunque, debe definirse bien el rango de la frecuencia, el ancho de banda del transductor debe satisfacer que $W \geq 1/\tau$, donde τ es la duración del pulso.

La solución óptima es tener un transductor de transmisión con un **Q** alto y un transductor de recepción operando en la misma frecuencia de resonancia pero con un **Q** bajo.

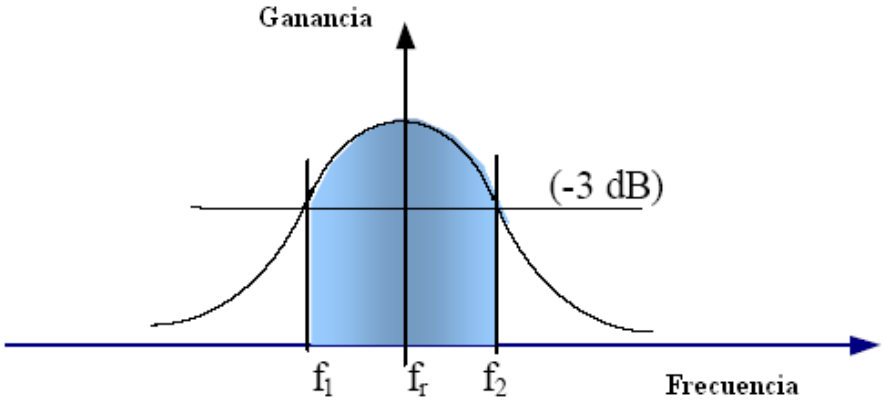


Fig. 3.6 "Ancho de banda del transductor"

2.4.3 Longitud del pulso

La longitud del pulso determina la energía transmitida al agua. Para el mismo poder, mientras más largo sea la longitud de pulso, la energía puesta en el agua es más alta y entonces será mayor el alcance que pueda lograrse con el ecosonda.

Para aprovechar la frecuencia resonante del transductor, la duración del pulso debe ser por lo menos la mitad de su período natural. El inconveniente de los pulsos más largos es la disminución de la resolución vertical de dos rasgos adyacentes (Figura 3.7).

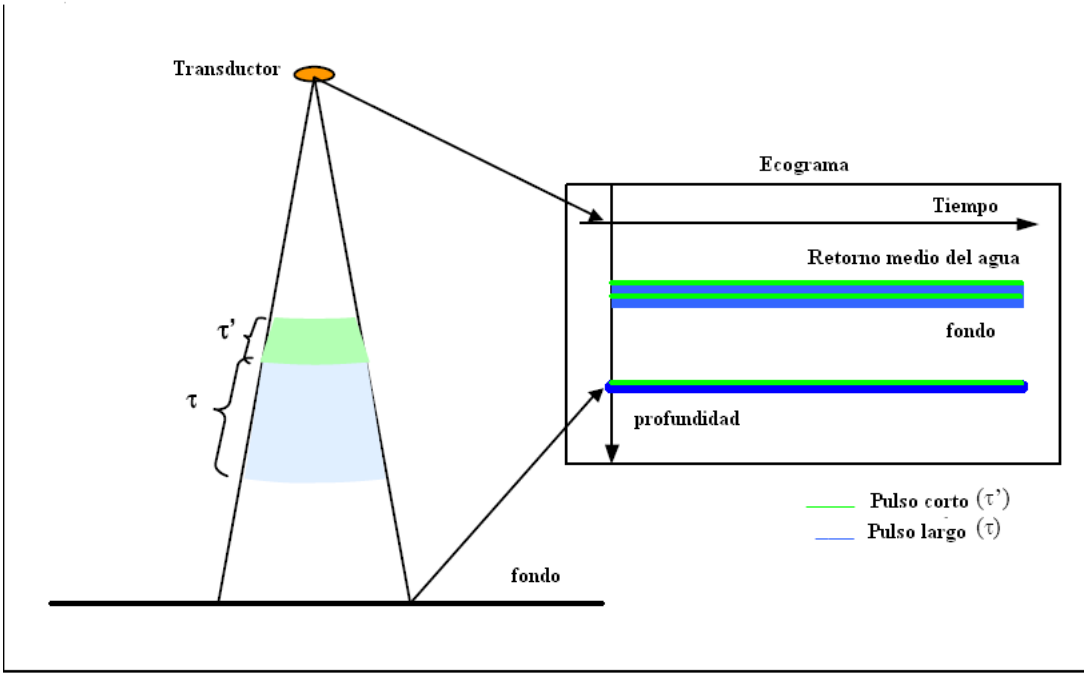


Fig. 3.7 "Resolución como una función de la longitud del pulso"

3. SENSORES DE MOVIMIENTO

El logro de haber sido capaces de corregir las profundidades observadas y su posicionamiento para el movimiento de la embarcación, es decir el comportamiento (rolido, cabeceo, rumbo) y el bandeo fue un gran avance y logro para la calidad y exactitud de los levantamientos hidrográficos. Por este propósito los sensores inerciales con un sensor de rumbo (usualmente un giro compás o una válvula de flujo) o sensores inerciales con la integración de información GPS son usados para medir el comportamiento y el cabeceo de la nave de levantamiento.

El comportamiento de una nave consiste de tres rotaciones en los tres ejes ortogonales convencionales definidos para la nave. Desde aquí, el sistema de coordenadas de la nave es definido como el sistema de mano derecha con el eje x apuntando a la proa, el eje y apuntando al estribor y el eje z apuntando hacia abajo. En el sistema de referencia el rolido corresponde a la rotación en el eje x (el rolido es positivo cuando el estribor está abajo), el cabeceo corresponde a la rotación en el eje y (el cabeceo es positivo cuando la proa está arriba), la guiñada corresponde a la rotación en el eje z (la guiñada es positiva para la rotación en sentido de las agujas del reloj).

Para transformar los datos recolectados, referidos al marco de referencia de la nave, al sistema de coordenadas local es necesario hacer rotaciones de acuerdo al comportamiento percibido. Desde aquí, por convención, el sistema de coordenadas local es definido como el sistema de mano izquierda con el eje x apuntando al Este, el eje y apuntando al Norte y el eje z apuntando hacia abajo.

La siguiente sección cubre los principios de los sensores de movimiento y la exactitud en la medición.

3.1 Principios de operación

3.1.1 Sensores inerciales

Los sensores inerciales o Unidades de Medida Inercial (IMU) son los sensores más comunmente usados en la hidrografía para la medición del rolido, cabeceo y bandeo. Estos sensores aplican las

leyes de Newton para el movimiento y consisten de tres acelerometros, montados en ejes tri ortogonales y tres sensores de tasa angulares colocados en el mismo marco que experimenta el mismo movimiento angular de la nave (sistema strap down). El resultado de esta tríada de acelerómetros da una buena estimación del vector de gravedad, la dirección desde la que los pequeños desplazamientos de la nave son medidos. La tríada de los sensores de tasa angular mide los desplazamientos angulares (es decir, rolido, cabeceo y guiñada).

El balanceo es determinado por la doble integración de la aceleración lineal diagnosticada por el acelerómetro vertical.

Los datos de los acelerómetros están filtrados a paso bajo para retirar las variaciones de alta frecuencia desde el vertical aparente debido al oleaje, cambios rápidos o variaciones de velocidad bruscas. Por otra parte, los datos de los sensores de tasa angular son filtrados a paso rápido para retirar los movimientos de frecuencia baja. Entondes el resultado del filtro es el comportamiento de la plataforma con la frecuencia por encima del límite de frecuencia seleccionado (usualmente, el límite de frecuencias de 5 a 20 segundos es aceptado.)

Cuando la nave sufre cualquier aceleración sistemática, cuya duración excede el tiempo constante del filtro de paso bajo utilizado a los acelerométros, como los de cambios prolongados o variación de la velocidad, la aceleración centripetal o tangencial es percibida como las aceleraciones horizontales prolongadas que no pueden ser filtradas por el filtro de paso bajo. El resultado es la deflección del vertical aparente del vertical verdadero con los errores consiguientes de las medidas angulares (rolido y cabeceo).

La combinación de los dos filtros (de paso bajo y de paso alto) y la relación entre las dos bandas de pase establece las características del sensor.

Estos sensores inercicos, especialmente para el bandeo, son muy sensitivos al intervalo de tiempo usado para la integración. El límite de frecuencia equivalente debe ser sintonizado en el valor adecuado, para detectar las ondas más largas sin rechazar o atenuar las más cortas.

3.1.2 Sensores inerciales con la integración de información GPS

La integración de información GPS provee una intención de determinar el rumbo de la embarcación a través del uso de dos antenas GPS en una línea de base, usualmente orientadas longitudinalmente a la proa de la nave.

La información de la velocidad y el valor de cambio que da el receptor GPS y por los valores de los sensores angulares pueden ser usados para calcular la aceleración centripetal. Tomando en cuenta esta información, las mediciones del rolido y el cabeceo son compensadas por la deflección del vertical aparente. El resultado de este sensor es un rolido y un cabeceo de mayor exactitud que no es susceptible a ninguna aceleración horizontal.

3.2 Medición del rolido, cabeceo y balanceo

Desde mediados del 1990, los sensores de movimiento exactos y económicos han sido utilizados para el levantameinto hidrográfico. Es ahora considerado un requisito esencial no solo para el levantamiento multi haz sino tambien para el de haz simple cuando se utilizan sistemas de recolección de datos automáticos. Estos sensores son usados para compensar el movimiento de la nave para el rolido, cabeceo y bandeo.

Las profundidades calculadas deben tener en consideración los datos del sensor de movimiento, es decir, el valor desde la oscilación de la nave de levantamiento en el eje longitudinal (rolido - θ_R), el

valor de la oscilación de la nave de levantamiento en el eje transversal (rolido - θ_P), el rumbo de la nave (α) y la oscilación vertical (bandeo) ver figura 3.8 y anexo A.

3.3 Aproamiento

El registro y la aplicación del rumbo de la nave son esenciales para los sistemas de levantamiento de banda de sondajes. Sin embargo, para los levantamientos de haz simple el efecto de la variación del rumbo (guiñada) durante una rotación no es importante si la antena de posicionamiento y el transductor están ubicados en el mismo eje vertical. Cuando la antena de posicionamiento y el transductor no están en el mismo eje vertical, para profundidades posicionadas exactamente, es necesario tener en cuenta el rumbo de la nave.

Para la medición del rumbo en tiempo real están disponibles varios métodos y equipos, como: el girocompás, los compases de válvula de flujo y los DGPS de fase transportables.

La medición del rumbo basada en los de fase transportable es hecha en sensores inerciales que integran la información DGPS. Esta solución permite altas exactitudes.

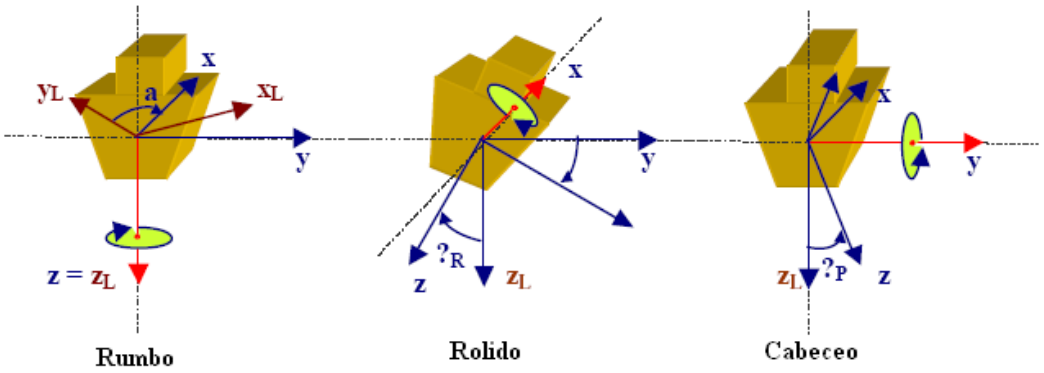


Fig. 3.8 "Comportamiento de la nave"

3.4 Precisión

La precisión del rolido, cabeceo, bandeo y rumbo deben ser tan altas como sea posible. Los sensores de movimiento disponibles en el presente son suficientemente precisos para ser utilizados en casi todas las órdenes de levantamiento. Sin embargo, durante las aceleraciones horizontales de la nave de levantamiento, aceleraciones centripetales o tangenciales, los sensores inerciales, cuando se usan solos, tienen mediciones sesgadas debido a la desviación del vertical aparente.

Para el MBES es recomendable que los sensores inerciales estén combinados con la integración de la información DGPS para que el efecto de las aceleraciones horizontales pueda ser minimizado. Las exactitudes de sistemas usuales del 95% de nivel de confianza, son de 0.05º para el rolido y el cabeceo, 0.2º para el rumbo y 10 centímetros ó 10% para la altura del bandeo, el que sea más grande.

Durante los cambios de la nave la medición del bandeo es degradada debido a la aceleración centripetal. Tradicionalmente es necesario esperar un intervalo de diez veces el período límite para recuperar mediciones exactas despues del cambio para permitir la estabilización y acomodo de la unidad de medida.

4. TRANSDUCTORES

Los transductores[41] son uno de los componentes del eco sondas; tienen características de transductor que dictan algunos de los tipos de operación de un eco sondas. Por esta razón es particularmente importante estudiar los principios operativos, las características y los aspectos relacionados como son: el ancho del haz, la directividad, la dirección del haz, la instalación y la cobertura.

Los transductores son los equipos utilizados para la transmisión y la recepción de los pulsos acústicos. Ellos operan al convertir la energía electrica en energía mecánica, es decir, los transductores convierten los pulsos eléctricos de un generador de señal a vibraciones longitudinales que propagan en la columna de agua como una onda de presión [Seippel, 1983]. Durante la recepción, recíprocamente, las ondas de presión son convertidas en señales eléctricas.

Esta sección describe las clasificaciones de transductores en relación a: Los principios operativos, el haz, el ancho del haz y la instalación, al final de la sección la evaluación de la ensonificación es presentada.

4.1 Clasificación en relación a la operación

Los transductores son clasificados en relación a su principio operativo, o sea, magnetostrictivo, piezoeléctrico y electrostrictivo.

4.1.1 Magnetostrictivo

Estos transductores tienen un eje de hierro con un espiral de níquel. La corriente C.D (corriente directa) o el pulso a través del eje genera un campo magnético en el espiral que produce una contracción y consecuentemente una reducción de su diámetro. Cuando la corriente eléctrica a lo largo del esje se para el espiral regresa a su tamaño original.

La aplicación de una señal A.C (corriente alterna) genera contracciones y expansiones de acuerdo a las características de la señal aplicada. La amplitud de la vibración inducida será máxima si la frecuencia es igual o armoniosamente relacionada con la frecuancia natural del material del transductor o la frecuencia de la resonancia[42].

Este tipo de transductor es, sin embargo, menos eficiente que los transductores que operan con el efecto piezoeléctrico.

4.1.2 Piezoeléctrico

Estos transductores están hechos de dos platos con un fondo de cristales de cuarzo en el medio. La aplicación del potencial eléctrico a través de los platos produce una variación en el grosor del fondo de cuarzo (efecto pizoeléctrico). La alteración del potencial eléctrico causa la vibración del cuarzo y consecuentemente la vibración de toda la unidad. Recíprocamente, la compresión mecánica del cristal produce una diferencia potencial entre las caras opuestas del cristal. La amplitud de la vibración será máxima si la frecuencia del potencial eléctrico concuerda con la frecuencia natural del cuarzo.

[41] El transductor es un equipo, con una antena submarina, usado para transmitir pulsos acústicos y para recibirlos de regreso. En particular, si el equipo es usado sólo para la transmisión es llamado proyector y si es usado exclusivamente para la recepción, operado en modo pasivo, es llamado hidrófono.

[42] Este fenómeno corresponde al reforzamiento o prolongación de cualquier onda de movimiento, como las ondas acústicas. La frecuencia de la resonancia es la frecuencia en la que el transductor vibra más prontamente.

4.1.3 Electrostictivo

Estos transductores están basados en el mismo principio que los transductores piezoeléctricos. Sin embargo, los materiales usados (normalmente cerámicas policristalinas o ciertos polímeros sintéticos) no tienen naturalmente características piezoeléctricas, por lo que durante los procesos de fabricación necesitan ser polarizados.

Los transductores electrostictivos son usados casi exclusivamente en estos días. Estos transductores son más livianos, reversibles y pueden ser alineados. Estas alineaciones con un grupo de elementos pequeños, cuando están arregladas apropiadamente, permiten, de acuerdo al teorema del producto (ver 4.2, ecuación 3.26), características similares para un transductor de una sola pieza.

4.2 Ancho del haz

La amplitud de la presión generada por un transductor, en las coordenadas polares, es dada por el producto:

$$P(r,\theta) = P_{ax}(r) \cdot h(\theta) \qquad \textbf{(3. 21)}$$

Donde **θ** es el ángulo referido al eje del haz, línea de máxima amplitud de presión e intensidad, **r** es el rango desde un punto en particular al transductor, $\mathbf{P_{ax}(r)}$ es la amplitud de presión en el eje del haz acústico, y **h(θ)** es el factor direccional que corresponde a la fuerza relativa de la señal. El factor direccional es normalizado por θ = 0, es decir h(0) = 1, entonces $P(r,0) = P_{ax}(r)$.

La directividad del transductor es usualmente representada por un diagrama modelo de haz $B(\theta) = h^2(\theta)$ o en una escala logarítmica como: $b(\theta) = 10 \cdot \log_{10}(B(\theta)) = 20 \cdot \log_{10}(h(\theta))$

El transductor puede ser caracterizado por el ancho de su haz $\mathbf{b_w}$**;** esto es comúnmente definido por el ángulo en el nivel -3dB, esto quiere decir, que la apertura angular correspondiente a la mitad del poder referido al eje del haz $b_w = 2\theta_{-3dB}$, ver Figura 3.9.

La medición de la profundidad es desarrollada en cualquier dirección dentro del cono definido por el ancho del haz.

El ancho del haz está relacionado con las dimensiones físicas del transductor y con la frecuencia de los pulsos acústicos. Por ejemplo, el ancho del haz en el nivel -3 dB de un transductor de pistón circular, con un diámetro **D,** puede ser aproximado por:

$$b_w = 60\ \lambda / D \text{ (degrees)}, \qquad \textbf{(3. 22)}$$

y para un transductor de cara rectangular, con una longitud **L** y un ancho **W,** el haz con un ancho en el nivel -3 dB en las dos dimensiones puede ser respectivamente aproximado por:

$$b_w = 50\ \lambda / L \text{ and } b_w = 50\ \lambda / W \text{ (degrees)}, \qquad \textbf{(3. 23)}$$

Para una alineación lineal de los elementos del transductor omni direccional **N,** con una distancia **d** de separación, la suma de las señales desde los elementos genera un diagrama patrón del haz direccional (figuras 3.10 y 3.11).

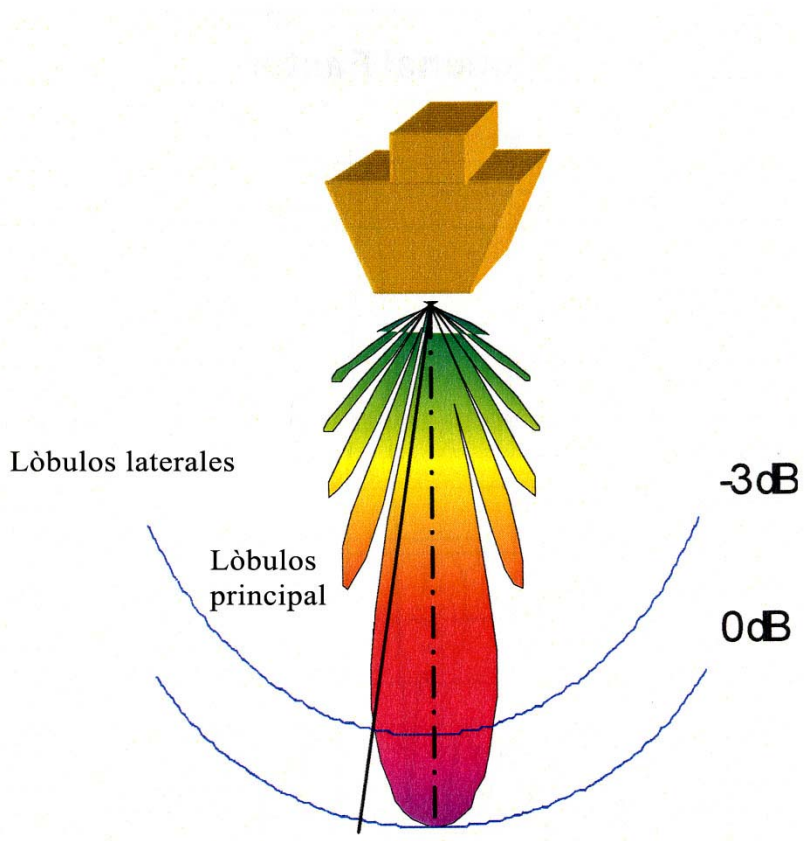


Fig. 3.9 "Ancho del haz definido por el ángulo a un nivel -3dB"

La dirección del eje acústico es perpendicular a la cara de la alineación del transductor. El ancho del haz, en el nivel -3 dB, es dado aproximadamente por

$$b_w = 50\ \lambda / ((N-1)d)\ \text{(degrees)} \qquad \textbf{(3. 24)}$$

Donde λ es la longitud de la onda acústica.

El factor direccional de la alineación de los elementos transductores es dada por [Kinsler et al., 1982]:

$$h_{array}(\theta) = \left| \frac{\sin(N\pi \frac{d}{\lambda} \sin\theta)}{N \cdot \sin(\pi \frac{d}{\lambda} \sin\theta)} \right| \qquad \textbf{(3. 25)}$$

Teorema de producto - es una ley de acústicas que define el factor direccional de una alineación de **N** elementos de un transductor como el producto de un factor direccional de un elemento del transductor por el factor direccional de la alineación, es decir.

$$h(\theta) = h_e(\theta) \cdot h_{array}(\theta) \qquad \textbf{(3. 26)}$$

y la amplitud de la presión es dada por:

$$P(r,\theta,\phi) = P_{ax}(r) \cdot h_e(\theta,\phi) \cdot h_{array}(\theta,\phi)\,. \qquad \textbf{(3.27)}$$

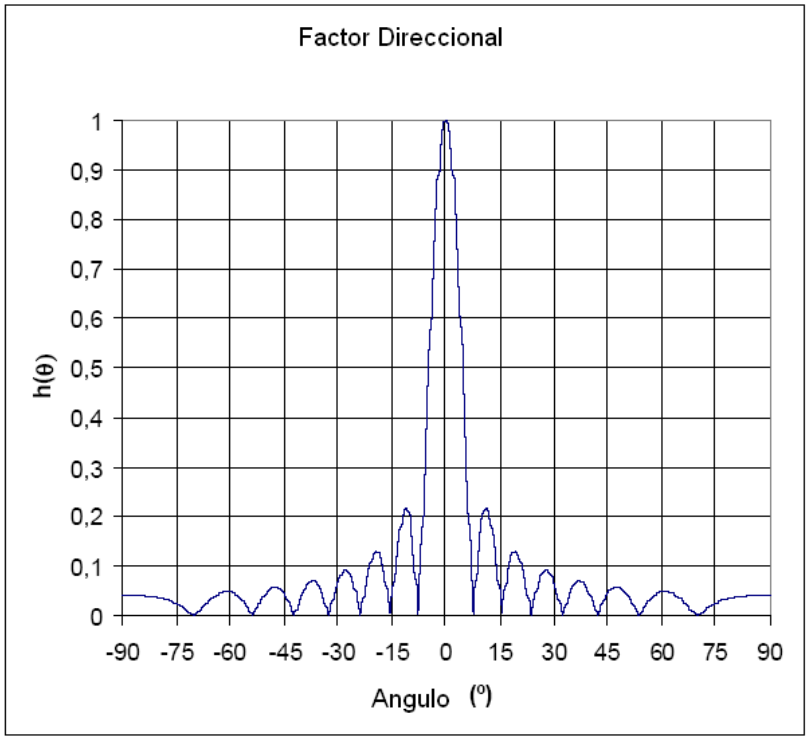


Fig. 3.10 "Factor Direccional"

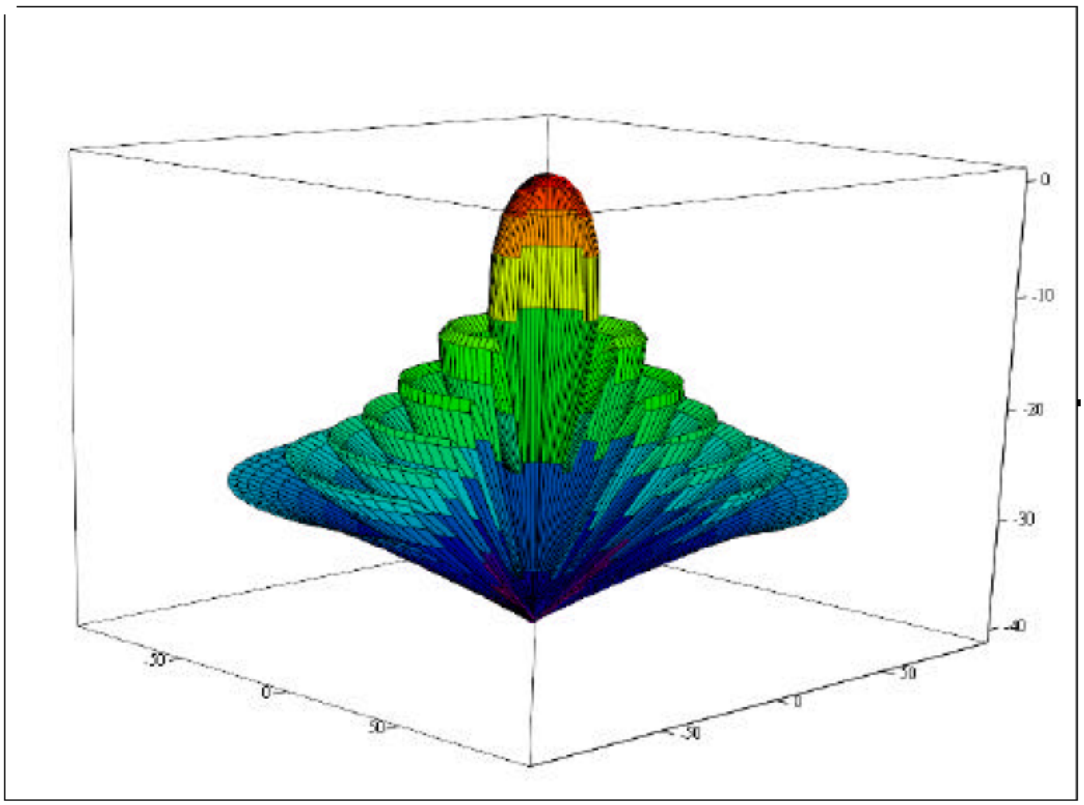


Fig. 3.11 "Patrón de haz de un haz perpendicular a una cara del transductor"

Para un elemento lineal, el factor direccional es:

$$h_{linear}(\theta) = \left| \frac{\sin(\pi \frac{L}{\lambda} \sin\theta)}{\pi \frac{L}{\lambda} \sin\theta} \right| \qquad \textbf{(3. 28)}$$

El factor direccional para una alineación es valido únicamente para el campo lejano, es decir, en el área donde las dos ondas generadas por un elemento central y un elemento exterior desde la misma alineación tienen una diferencia menor a los 180 grados.

$$k\sqrt{R^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2} - kR \leq \pi \qquad \textbf{(3. 29)}$$

Donde **k** es el número de la onda, o sea $k = 2\pi/\lambda$.

Por ejemplo, para una frecuencia de 100kHz y una alineación de transductor lineal con L = 1.5 m, el campo lejano corresponde a las distancias mayores a 4,0 metros. Esto es usualmente la restricción para la medición mínima de profundidad.

En el campo cercano, el proceso de interferencia crea una representación más compleja de la presión acústica.

El transductor o eje del haz de la alineación del transductor es normal a la cara del transductor. Para formar haces no normales a la cara de la alineación, es necesario dirigir el haz. Este proceso es logrado a través de las técnicas de dirección del haz.

Una alineación con **N** elementos omni direccionales puede direccional un haz al introducir una fase o un retraso de tiempo en cada elemento. El factor direccional correspondiente es (Figura 3.12):

$$h_{array}(\theta) = \left| \frac{\sin\left[N\pi \frac{d}{\lambda} (\sin\theta - \sin\theta_{ax}) \right]}{N \cdot \sin\left[\pi \frac{d}{\lambda} (\sin\theta - \sin\theta_{ax}) \right]} \right| \qquad \textbf{(3.30)}$$

El resultado de la ecuación es la dirección del eje del haz a la dirección $\boldsymbol{\theta_{ax}}$ (Figura 3.13)

La dirección del haz puede ser lograda al introducir un retraso en tiempo o la diferencia de fase a los elementos de la alineación (ecuación 3.31).

La dirección del haz tiene dos propósitos: la estabilización del haz y el haz formado durante la fase de recepción.

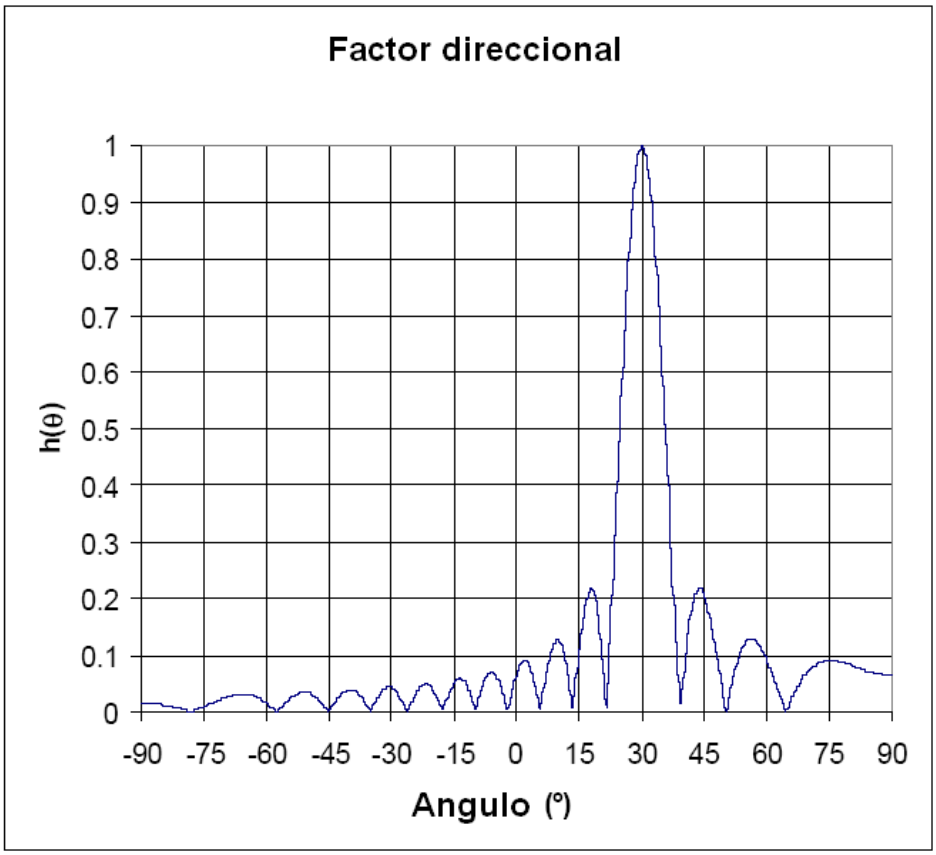


Fig. 3.12 "Factor direccional de una dirección de haz de 30 grados"

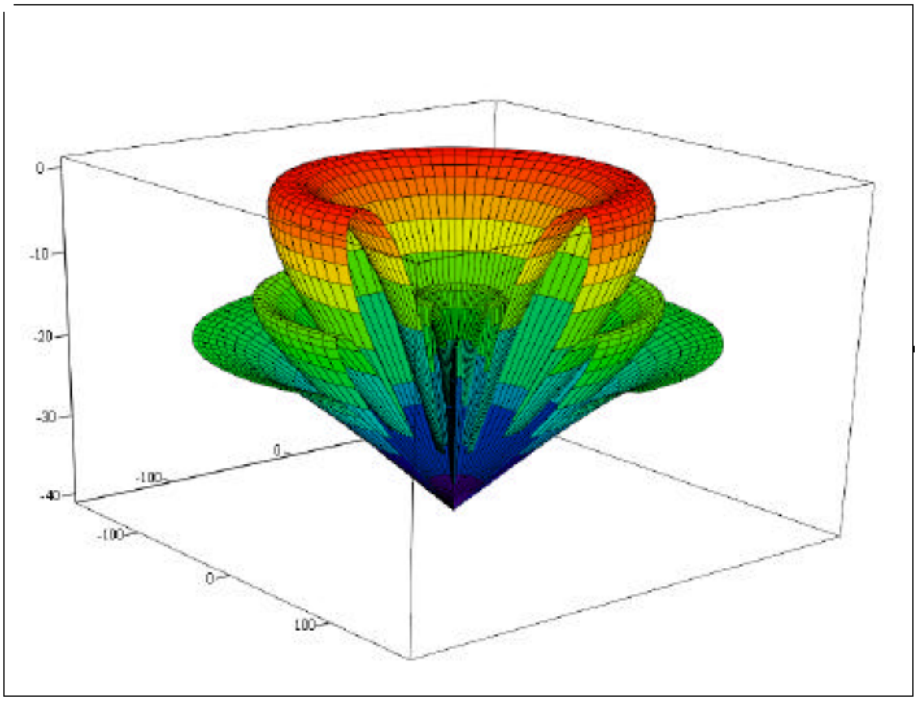


Fig. 3.13 "Patrón de haz de una dirección de haz de 30 grados"

Para la estabilización del haz, es necesario medir el ángulo referido a la dirección normal de la alineación, siendo el retraso de tiempo obtenido de:

$$\Delta t_n = \frac{nd}{c}\sin(\theta_{ax}) \qquad \textbf{(3. 31)}$$

Durante la formación del haz, las señales desde cada elemento de la alineación están copiadas para cada haz, el retraso de tiempo aplicado a un elemento de un canal en particular o el haz es:

$$\Delta t_{n,i} = \frac{nd}{c}\sin(\theta_{ax_i}) \qquad \textbf{(3. 32)}$$

Donde **i** es el orden del haz y **n** es el número de los elementos del transductor./

Considerando que dos elementos sin dimensión transmiten un pulso con la misma frecuencia pero con un retraso de tiempo, el eje acústico es llevado hacia la dirección donde las frentes de onda, proviniendo de los dos elementos, llegan al mismo tiempo. (Figura 3.14).

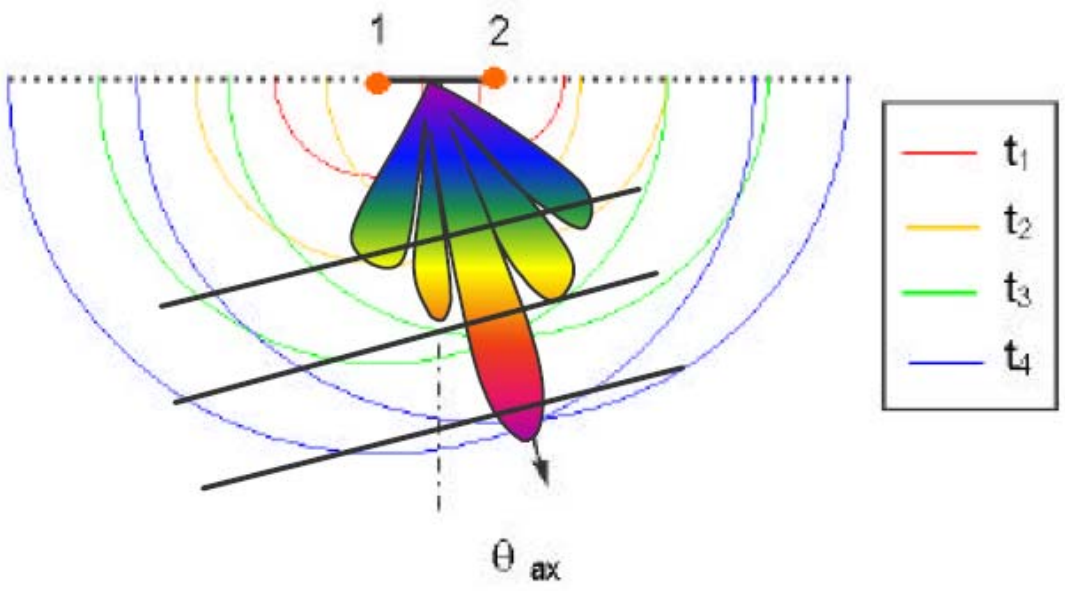


Fig. 3.14 "Ilustración de un haz diseccionado θ_{ax} con dos elementos transductores"

El ancho del haz, usualmente definido en el nivel -3 dB, aumenta con el ángulo de dirección, o sea,

$$b_{W_i} = 50\frac{\lambda}{(N-1)d\cdot\cos(\theta_{ax_i})}\ \text{(degrees)} \qquad \textbf{(3. 33)}$$

Debido a la forma cónica del haz, cuando es diseccionado, su intersección con el plano de un fondo marino plano resulta en una huella hiperbólica (Figura 3.15).

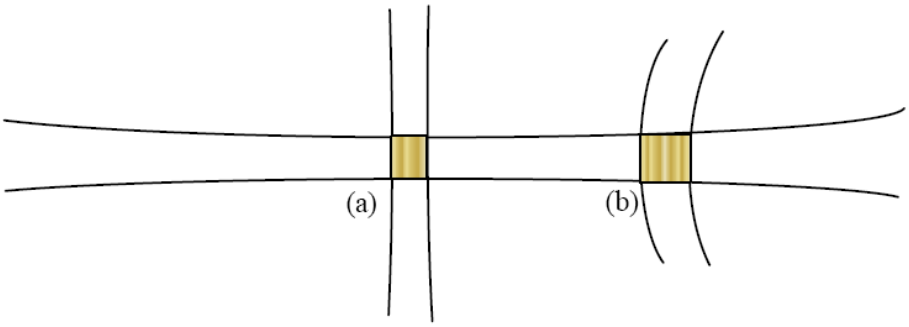


Fig. 3.15 "Huella lineal (a) e hiperbólica (b)"

Los lóbulos laterales tienen efectos indeseables, como la detección de los ecos correspondientes a esos lóbulos. Este es el caso general para los MBES usando ángulos de haz largo donde la detección errónea es hecha en el nadir o en el caso de puntos rocosos (Figura 3.16). Este efecto resulta en contornos batimétricos ondulantes que algunas veces pueden ser identificados como en forma de "omega". La reducción de los lóbulos es vital para la operación exitosa de los MBS; es lograda usando las funciones de sombreado, aplicadas durante la recepción de los ecos, correspondiendo a la ganancia variable aplicada a los elementos del transductor.

Considerando a todos los elementos del transductor con la misma amplitud, los lóbulos laterales tendrán aproximadamente -13 dB. La técnica usada para reducir los lóbulos laterales consiste en sobreponer una ventana, que amplifique las señales de diferentes elementos con diferentes ganancias. Estas ventanas son usualmente simétricas al centro de la alineación.

La ventana Dolph-Chebychev es usada con mucha frecuencia; esta ventana tiene la ventaja de optimizar el nivel de los lóbulos laterales para anchos particulares de haz; ésta produce el mismo nivel de amplitud para todos los lóbulos laterales.

La desventaja de la sobre posición de ventanas es la reducción de la directividad resultante.

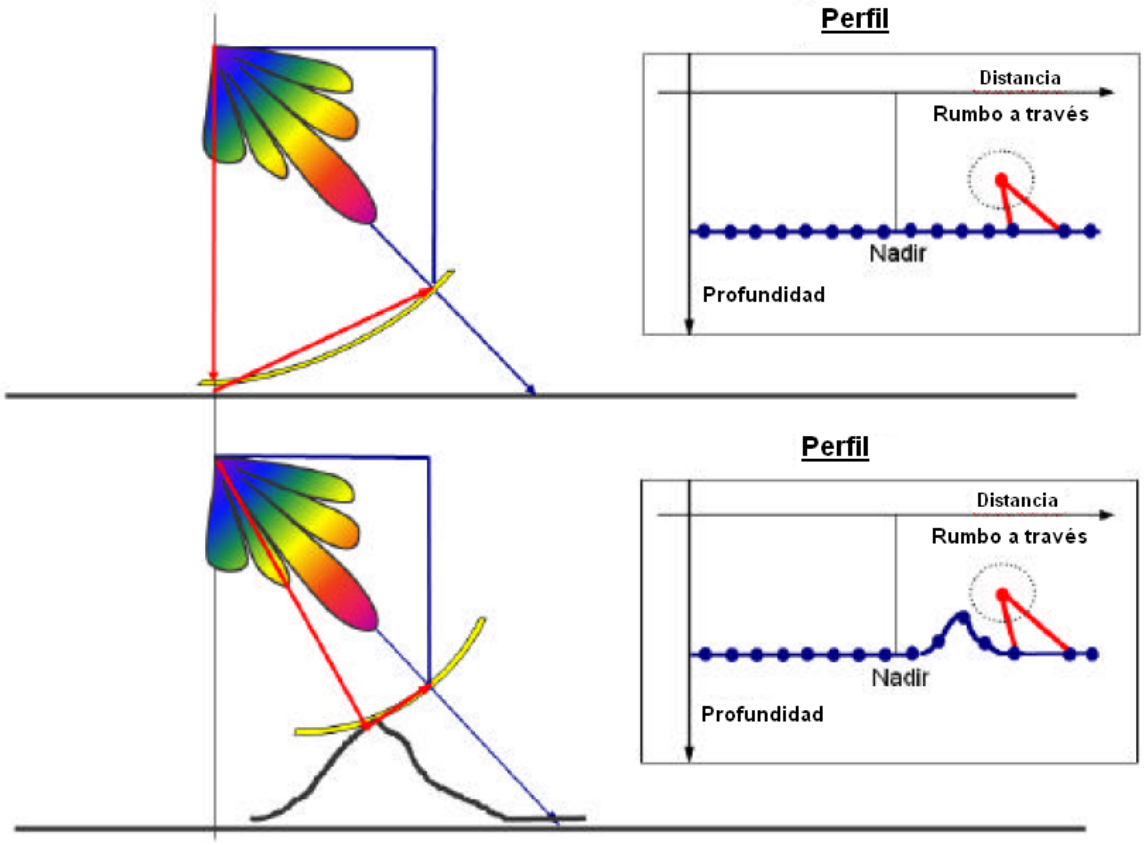


Fig. 3.16 "Medición de la profundidad correspondiente a los lóbulos laterales producidos en la determinación incorrecta de profundidad y en el posicionamiento"

4.3 Clasificación en relación al tipo de haz

Los ecosondas pueden ser divididos en ecosondas de haz simple y ecosondas multihaz. Los SBES pueden tener transductores con una simple pieza de transductor o con una alineación. Los MBES tienen alineaciones de transductores construidas a partir de algunos elementos. Como se mencionó anteriormente, este es un resultado de la necesidad de un haz de formar direcciones múltiples y, algunas veces, de la dirección del haz de compensar para el comportamiento de la plataforma.

4.3.1 Haz único

Los ecosondas de haz simple requieren de un solo transductor, para las transmisiones y las recepciones, pero una alineación de transductores puede ser utilizada particularmente cuando la estabilización es requerida. El conocimiento de los ángulos de rolido y del cabeceo es necesario para la estabilización del haz.

El ancho del haz es una función de las dimensiones del transductor y de la longitud de la onda acústica. A medida que la frecuencia es más alta y que es más grande el transductor, el haz será más angosto. Entonces para tener un haz angosto en frecuencias bajas, un transductor grande es requerido.

El transductor seleccionado para el SBES puede tener un haz angosto cuando la directividad alta es requerida o un haz ancho cuando la directividad no es muy importante pero el detectar las profundidades mínimas o los obstáculos en el fondo marino es una prioridad.

Los haces anchos tienen la capacidad de detectar los ecos dentro de un ángulo grande y sólido, el cual es útil para la identificación de riesgos para la navegación requiriendo una investigación más

avanzada. Estos haces no están usualmente estabilizados, para las condiciones de mares comunes el comportamiento del transductor no impacta las mediciones.

Por otra parte, los haces angostos, típicamente de 2º a 5º, son usualmente requeridos para el trazado de resolución alta. (Figura 3.17). Estos haces puedes ser estabilizados para medir la profundidad verticalmente debajo del transductor

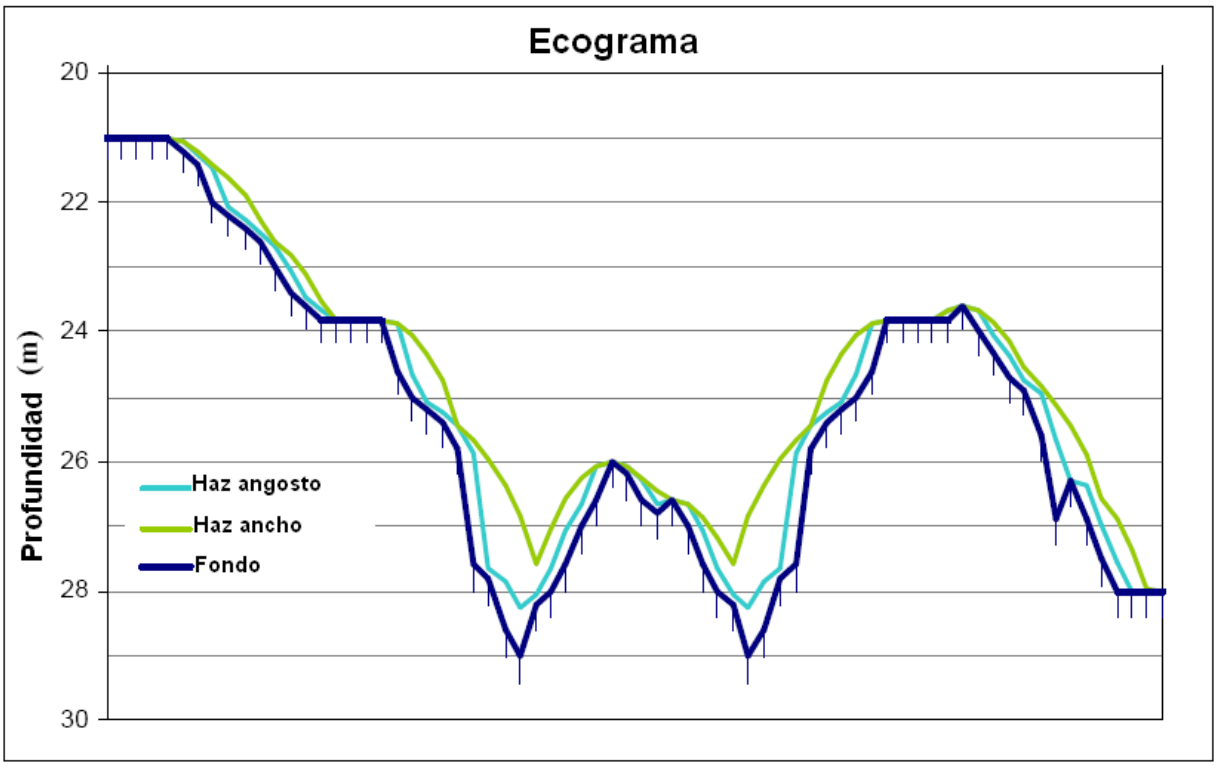


Fig. 3.17 "La ilustración de la medición de la profundidad usando un haz único angosto y uno ancho"

4.3.2 Multihaz

Los MBES normalmente tienen alineaciones transductoras separadas para la transmisión y para la recepción. Es decir, un proyector y un hidrófobo, donde el primero es orientado longitudinalmente y el segundo es orientado transversalmente a la proa de la nave. Lo más común es tener un solo haz de transmisión con forma de ventilador, angosto a lo largo del recorrido, garantizando, sin prestarle atención al comportamiento de la plataforma en estudio, la intersección entre los haces de transmisión y de recepción.

El transductor de recepción forma varios haces, en direcciones predefinidas, angostos a través del recorrido y ancho a lo largo del recorrido, garantizando, sin prestarle atención al comportamiento de la plataforma en estudio, la intersección entre los haces de transmisión y de recepción.

La reducción de los lóbulos laterales es esencial para corregir la medición de la profundidad y el posicionamiento del MBES. Es común tener lóbulos laterales menores a -20 dB.

4.4 Clasificación según su instalación

La instalación de los transductores a bordo de la nave de levantamiento puede tomarse de varias formas. La decisión en el camino en el cual el transductor debe ser instalado depende de lo portátil del sistema, manteniéndolo libre de los tipos de ruido de la nave, incluyendo la corriente de agua

turbulenta bajo la quilla, y la necesidad de bajarlo cerca del fondo marino. La instalación del transductor puede ser montado en la quilla, remolcado o portátil. Cada uno esta descrito en los párrafos siguientes.

4.4.1 Fijo en la quilla

Esta es la instalación común del haz simple y de los transductores de multihaz en las embarcaciones grandes, particularmente para aquellos designados para levantamientos de aguas profundas.

La instalación en la quilla puede escogerse opcionalmente de:

4.1.1.1 Montado en la cisterna - el transductor es montado con la cara en el casco plano. Esta opción es usada con el transductor de haz único o con el multihaz. La ventaja es que no necesita una estructura especial para la instalación; la desventaja puede ser el ruido de la nave.

4.1.1.2 Blister - el transductor es montado en una estructura con una forma de casco pequeño. Esta opción es usada para los transductores de haz único y los de multihaz. La ventaja es la reducción del efecto del flujo de agua del casco en la cara de los transductores; la desventaja es la necesidad de una estructura especial para la instalación.

4.1.1.3 Góndola - el transductor es montado en una estructura en forma de góndola (Figura 3.18). Esta opción es usada para los transductores multihaz, particularmente para la operación de aguas profundas. Las ventajas son la reducción del ruido de la nave y la eliminación del flujo de agua en el casco en la cara del transductor ya que pasa en medio del casco y la góndola; las desventajas son la necesidad de una estructura especial para la instalación y consecuentemente un aumento en el calado de la nave en el orden de un metro.

4.4.2 Remolcado

La instalación del transductor en un remolque de pesca es usado para los sonares de barrido cuando es necesario tener una buena estabilidad del transductor, la reducción del ruido en la nave y la habilidad de bajar el transductor cerca del fondo marino.

4.4.3 Portátil

Este método de instalación es comúnmente usado en los transductores de haz único o de multihaz en pequeñas embarcaciones, específicamente aquellas destinadas a levantamientos en aguas poco profundas. Esta instalación puede ser lograda en el lado o sobre la proa (figura 3.19) de la nave. La estructura de apoyo para el transductor debe ser rígida y resistente a la torsión.



Fig. 3.18 “Instalación Góndola”



Fig. 3.19 “Instalación del transductor sobre la proa”

4.5 Cobertura

La cobertura del fondo marino, o sea el área sondeada por el SBES, es el área dentro del haz, donde el tamaño de la huella es dado por (Fig. 3.20):

$$a = 2 \cdot z \cdot \tan\left(\frac{\phi}{2}\right) \qquad \textbf{(3. 34)}$$

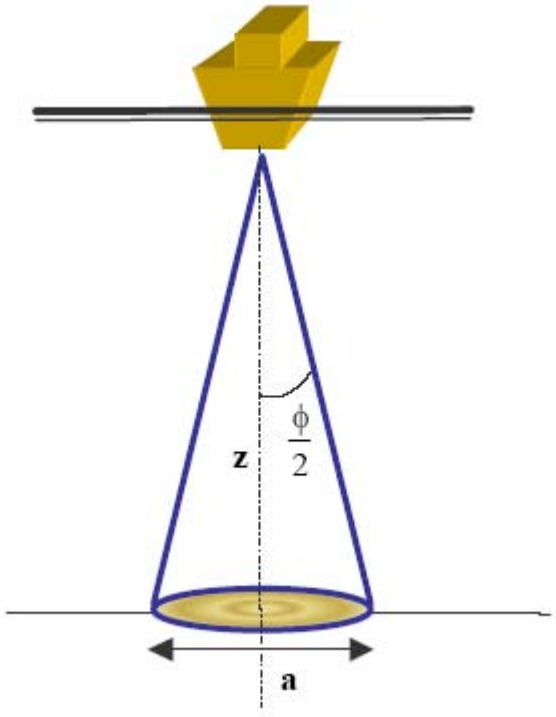


Fig. 3.20 "Cobertura del haz simple"

Para los ecosondas de multihaz, el área sondeada es el resultado de la intersección de los patrones de haz transmitidos y recibidos y es dependiente hasta el ángulo que apunte el haz, el ancho del haz, la profundidad y la inclinación promedio del fondo marino. El área sondeada para cada haz puede ser aproximada por una elipse. Tomando un fondo marino plano y nivelado, la longitud de esta elipse en la dirección de los buques es aproximadamente dada por $\mathbf{a_y}$,

$$a_y = \frac{2z}{\cos^2(\beta)} \tan\left(\frac{\phi_R}{2}\right) \qquad \textbf{(3.35)}$$

Donde **z** es la profundidad media, β es el ángulo del haz que apunta y ϕ_R es el ancho de la recepción del haz en la dirección del buque. En la presencia de una inclinación, definida por un ángulo ζ,, la longitud de la huella acústica es de aproximadamente:

$$a_y = \frac{2z}{\cos(\beta)\cos(\beta - \zeta)} \tan\left(\frac{\phi_R}{2}\right) \qquad \textbf{(3. 36)}$$

El ancho o la dimensión de la huella de la elipse en la dirección a popa, para un fondo marino plano, es aproximadamente dada por $\mathbf{a_x}$,

$$a_x = \frac{2z}{\cos(\beta)} \tan\left(\frac{\phi_T}{2}\right) \quad \textbf{(3.37)}$$

Donde ϕ_T es el ancho del haz transmitido.

La cobertura del fondo marino es una función de la dimensión de las áreas sondeadas, el espaciado del haz a través del recorrido, el índice del pulso, la velocidad del buque, la guiñada, el cabeceo y el rolido. Para lograr la cobertura total del fondo marino, las áreas sondeadas por pulsos consecutivos deben sobreponerse unas con otras, para que cada punto del fondo marino sea zonificado, al menos, por un pulso acústico.

El ancho de la franja de un fondo marino plano es dada por:

$$S_W = 2z \cdot \tan\left(\frac{\Delta\theta}{2}\right) \quad \textbf{(3.38)}$$

Donde $\Delta\theta$ es la cobertura angular entre los haces externos del MBES, efectivamente usados para propósitos hidrográficos

5. SISTEMAS ACÚSTICOS

En esta sección se describen los sistemas acústicos aplicados en el levantamiento hidrográfico. Estos sistemas están divididos de acuerdo a su habilidad de cubrir el fondo marino, es decir, los SBES y los sistemas de franja, bien sea multihaz o sonar interferométrico[43]

5.1 Ecosondas de haz único

Estos ecosondas son equipos para la determinación de la profundidad al medir el intervalo de tiempo entre la emisión de un pulso sónico o ultrasónico y el retorno de su eco desde el fondo marino

Tradicionalmente, el principal propósito del ecosondas es de producir una resolución constante y alta vertical al perfil del fondo marino en el trazado del eco. El trazado del eco, después de una interpretación cuidadosa, es muestreado y digitalizado manualmente para producir los sondeos.

Durante la última década, la tecnología aplicada en el SBES ha mejorado progresivamente con los digitadores automáticos, los grabadores sin partes movibles y posiciones de anotación en el trazado de eco. Recientemente, las computadoras y los procesadores de señales han permitido que el procesado de las señales de tiempo real sea más sofisticado y la presentación de la datos o la visualización en color gráfico, en vez de un grabado en papel.

5.1.1 Principios de operación

Un eco sondas funciona al convertir la energía eléctrica, del generador de pulso, en energía acústica. Como los transductores no transmiten en todas las direcciones, la energía acústica es proyectada en el agua en forma de un haz orientado verticalmente.

El pulso acústico viaja a través de la columna de agua y toca el fondo marino. La interacción con el fondo marino resulta en una reflexión, transmisión y dispersión.

[43] Un sistema de distancia determinada de un objeto submarino al medir el intervalo de tiempo, entre la transmisión de una señal submarina o una señal ultrasónica y el eco de retorno. El nombre sonar se deriva de las palabras SOund Navigation and Ranging.

La energía reflejada que regresa al transductor, el eco, es percibido por el transductor. La fuerza del eco disminuye rápidamente con el tiempo, por esa razón el eco es ajustado automáticamente de acuerdo a su nivel de energía usando un Control de Ganancia Automática (AGC) en la fábrica y el Ganancia de Tiempo Variable (TVG) para comenzar el descenso del eco como una función de tiempo. Después de la amplificación la señal eléctrica es pasada a un detector envolvente y comparada para el ajuste del umbral para filtrar el ruido de la señal. La señal de salida es entonces visualizada o grabada.

El resultado observable es el intervalo de tiempo entre la transmisión y la recepción del eco, **t**, siendo la profundidad medida dada por:

$$z_m = \frac{1}{2} \cdot t \cdot \bar{c} \qquad \textbf{(3.39)}$$

Donde $\bar{c}$ es la media de la velocidad del sonido en la columna de agua.

5.1.1.1 Parámetros del ecosonda necesitan ser fijados correctamente para obtener una exactitud alta y una grabación clara del fondo marino. Los parámetros más importantes son:

a) Poder – El rango de operación del eco sondas depende de la longitud del pulso, la frecuencia y el poder transmitido. Para optimizar el uso del eco sondas, el poder transmitido debe ser mantenido en los valores más bajos consumados con la detección adecuada. Los aumentos del poder resultarán en los altos niveles de los ecos pero también en niveles de reverberación altos, creando una grabación pobre. El poder es limitado por el fenómeno de la cavitación[44] y por el rompimiento de la presión del material del transductor.

b) Ganancia - la ganancia ocasiona la amplificación de la señal. La amplificación de la señal también amplifica el ruido y consecuentemente se puede confundir la grabación de los datos. Se recomienda que la ganancia sea ajustada de acuerdo al tipo de fondo marino y al poder de transmisión.

c) Intensidad de Registro – Este parámetro es usado en ecosondas análogos para ajustar la intensidad de la grabación.

d) Longitud del pulso – La longitud del pulso es normalmente seleccionada de manera automática como una función del rango de operación. La longitud del pulso es responsable de la resolución vertical del ecosondas, los pulsos cortos son necesarios para una mejor resolución. Puede ser necesario aumentar la longitud del pulso en áreas con poca reflectividad o con inclinaciones excesivas.

En aguas poco profundas, donde la resolución es más importante, los pulsos cortos deben ser usados. Esto reducirá la probabilidad de los ecos falsos debido a la reverberación fuerte.

e) Escala – Corresponde a la profundidad de la escala de la ventana de grabado del eco sondas. El ancho del papel de grabado es fijado, por lo tanto en las escalas menores una tendrá una resolución vertical baja.

[44] Este corresponde a la producción de los vacíos pequeños en el agua. Este fenómeno ocurre cuando la presión acústica excede la presión hidrostática.

f) **Fase de escala –** La fase de escala es una manera de sobrepasar las limitaciones de la resolución de grabado impuesto por la escala de trazado del eco. La escala de fase consiste en el grabado de sólo una ventana de profundidad que debe ser cambiada, manual o automáticamente, para mantener el grabado del fondo marino con una resolución vertical satisfactoria sin importar la profundidad del agua (Figura 3.21).

g) **El calado –** Este parámetro consiste en la inmersión del transductor, para grabar la profundidad con referencia al nivel de agua instantáneo, el calado debe ser fijado y verificado antes que las operaciones de levantamiento comiencen y con cierta regularidad de allí en adelante.

h) **La velocidad del papel –** La velocidad es particularmente importante y debe ser seleccionada para asegurar una buena resolución horizontal desde la medición de la profundidad.

i) **Velocidad de sonido –** Este es el valor nominal de la velocidad del sonido que debe corresponder a la media de la velocidad del sonido en el área de operación. En los levantamientos con más solicitud de exactitud, la velocidad del sonido puede ser fijada a la velocidad del sonido de la cara del transductor o a los 1500m/s y después durante el procesado de la datos, la profundidad debe ser corregida aplicando el perfil actual de la velocidad del sonido.

   En los ecosondas clásicos análogos, este parámetro no corresponde con la velocidad del sonido sino al valor que calibra los componentes mecánicos y eléctricos del ecosondas para medir la correcta profundidad del agua.

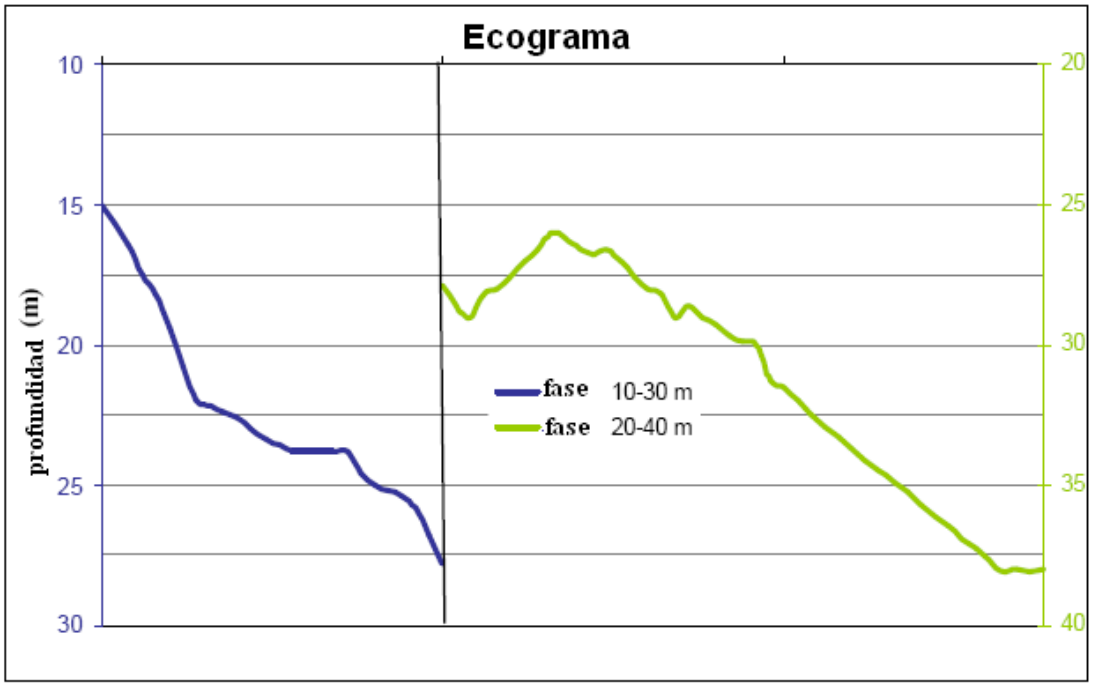


Fig. 3.21 "Escalas de grabación"

Los principios de funcionamiento generales del SBES fueron referidos anteriormente. Sin embargo es posible identificar dos tipos de ecosondas, digital o análogo.

Los ecosondas análogos tradicionales, cuyo diagrama es presentado en la Figura 3.22, comienzan el ciclo con la generación de un pulso eléctrico y la transmisión de una explosión de energía en el agua. Después de la recepción de eco y la conversión a energía eléctrica, la señal de voltaje bajo es

preamplificada y pasa al amplificador de grabación, para ser grabada en un trazado del eco, que es un grabado gráfico de las medidas de profundidad obtenidas por un ecosondas con las resoluciones horizontales y verticales adecuadas. Después de que la fase de grabado es completada, es posible iniciar otro ciclo.

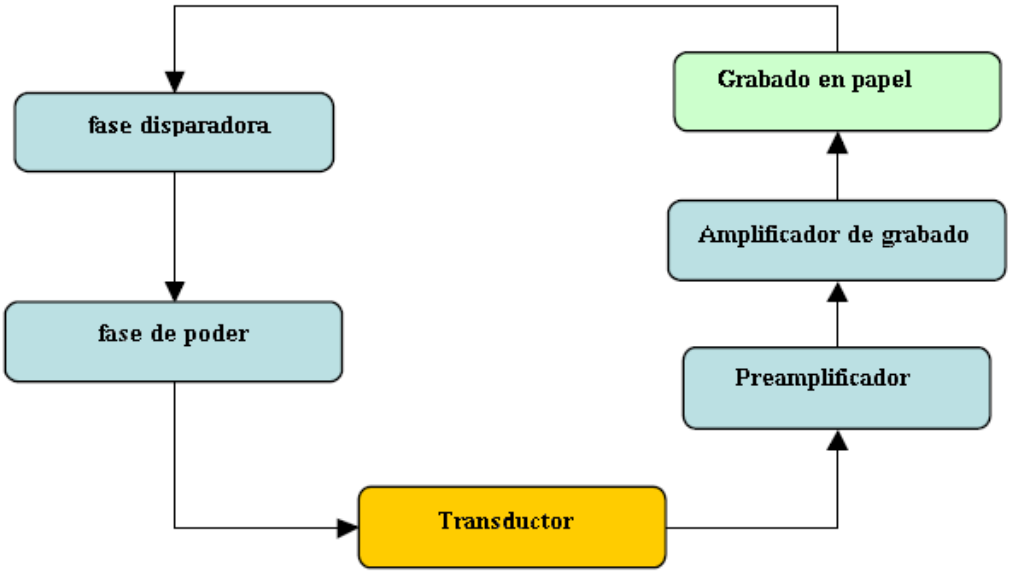


Fig. 3.22 "Ecosondas análogo – diagrama de bloque"

Los ecosondas hidrográficos para aguas poco profundas son normalmente construidos con dos canales (de baja y alta frecuencia). La grabación simultánea de dos frecuencias permite la separación del retorno del fondo marino desde los sedimentos suaves de la superficie y el alineado de rocas debido a sus independencias acústicas diferentes.

El ecosonda digital, ver figura 3.23, trabaja de una manera similar al ecosonda análogo para la transmisión de señal. Sin embargo, durante la recepción del eco, la señal recibida es amplificada como una función de tiempo (ganancia de variación de tiempo) y pasada a través de un detector envolvente donde es finalmente convertida al formato digital, que es la señal que es procesada para determinar la profundidad. Esto permite que la información sea guardada y mostrada en varios formatos.

5.1.1.2 La exactitud en la medición de profundidad es una función de varios factores, el ecosonda como tal y el medio. Usualmente, es necesario calcular el error presupuestado basado en esos factores (ver 5.1.4).

5.1.1.3 La resolución es la habilidad para separar los retornos desde dos o más objetos que estén juntos, es generalmente expresada como la distancia mínima entre dos objetos que pueden ser separados. En mediciones de profundidad, la mayor preocupación es la resolución vertical del ecosondas que depende de:

a) La longitud del pulso - los pulsos largos tiene una resolución similar (ver 2.4.3). Dos objetos dentro de un haz estrecho serán grabados como un objetivo de señal si están separados a menos de la mitad de un pulso de longitud, serán resueltos como dos ecos separados as están separados a más de medio pulso de longitud.

b) Sensibilidad y resolución del medio de grabación;

c) Ancho del haz de transmisión.

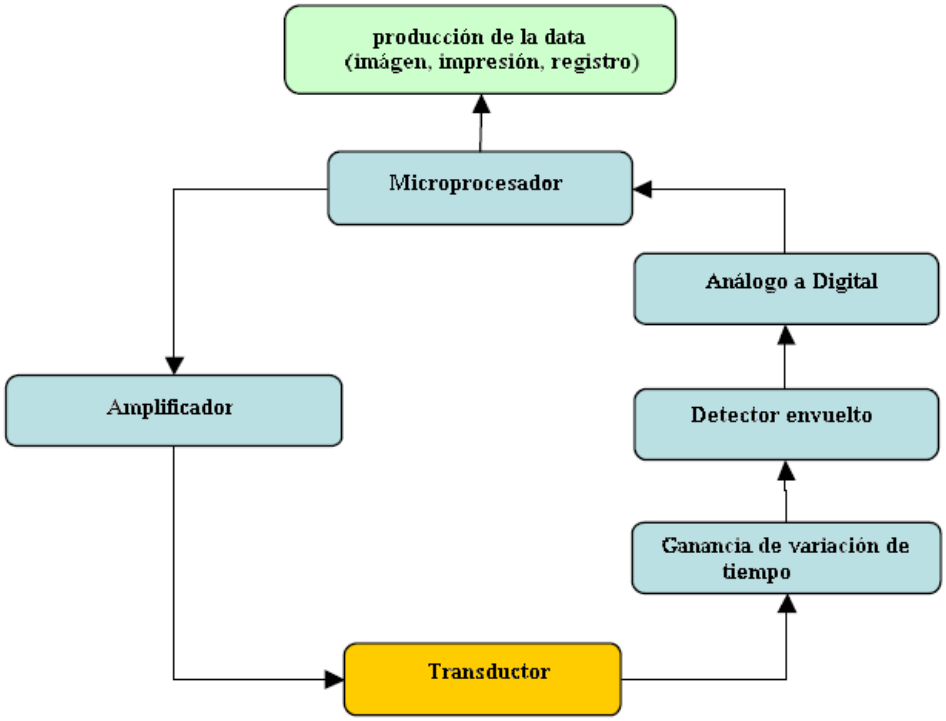


Fig. 3.23 "Ecosondas digital – diagrama de bloque"

5.1.1.4 La Frecuencia de un ecosonda es seleccionada basándose en la intensión de uso del equipo, es decir, los rangos de profundidad. En algunos casos es deseable usar el mismo equipo en varias profundidades, para ese propósito los ecosondas pueden tener más de una frecuencia y transductor para mejorar la adquisición de datos y la calidad de los datos.

Las frecuencias están ubicadas en los canales normalmente. Los ecosondas con dos canales se usan principalmente en aguas costeras y poco profundas; para aguas profundas, es más común usar una frecuencia baja sencilla.

5.1.2 Instalación y calibración

El transductor puede ser fijado bajo el casco o montado en el lado o sobre la proa. Las consideraciones relevantes son que el transductor debe ser ubicado, en lo posible, lejos de las fuentes de ruido de la nave, tan profundo como para evitar el ruido de la superficie y permanecer sumergido hasta en las áreas rugosas.

También es muy importante que el transductor esté asegurado y orientado verticalmente. Es preferible para el compensador del balanceo y para la antena de posicionamiento estar localizados en el mismo eje vertical del transductor.

La calibración del ecosondas es una tarea de rutina que consiste en ajustar el equipo para asegura la medición correcta de las profundidades. La calibración puede ser hecha con una barra de chequeo o con un transductor especial. El propósito es fijar el parámetro de la velocidad del sonido así como de ajustar los componentes mecánicos y eléctricos. También puede ser posible corregir las medidas de profundidad durante el post-proceso con la aplicación del perfil de la velocidad del sonido.

En aguas poco profundas, la calibración del ecosonda para el promedio de la velocidad del sonido en la columna de agua puede hacerse de las siguientes formas:

a) La barra de chequeo que consiste en bajar una barra o un plato bajo el transductor en varias profundidades (por ejemplo, cada dos metros) ya sea grabando el error de profundidad para aplicar posteriormente durante el procesado de los datos o forzando el ecosondas para grabar la profundidad correcta desde la barra o plato a través del ajuste del parámetros de la velocidad del sonido (Figura 3.24). En estos casos el valor adoptado para la calibración es el valor medio de las observaciones. Este método debe ser usado bajo los 20 ó 30 metros.

b) El transductor de calibración es un aparato designado para ejecutar la calibración conociendo una longitud del camino exacta. El proceso de calibración consiste en hacer que el ecosonda grabe el correcto camino de dos vías dentro del transductor de calibración al ajustar el parámetro de la velocidad del sonido. El transductor de calibración es bajado a varias profundidades, cada ajuste del ecosondas, luego de haber realizado la medición, es válido únicamente para la correspondiente profundidad. El valor de calibración utilizado debe ser la media de todas las observaciones. Este método debe ser usado bajo los 20 ó 30 metros.

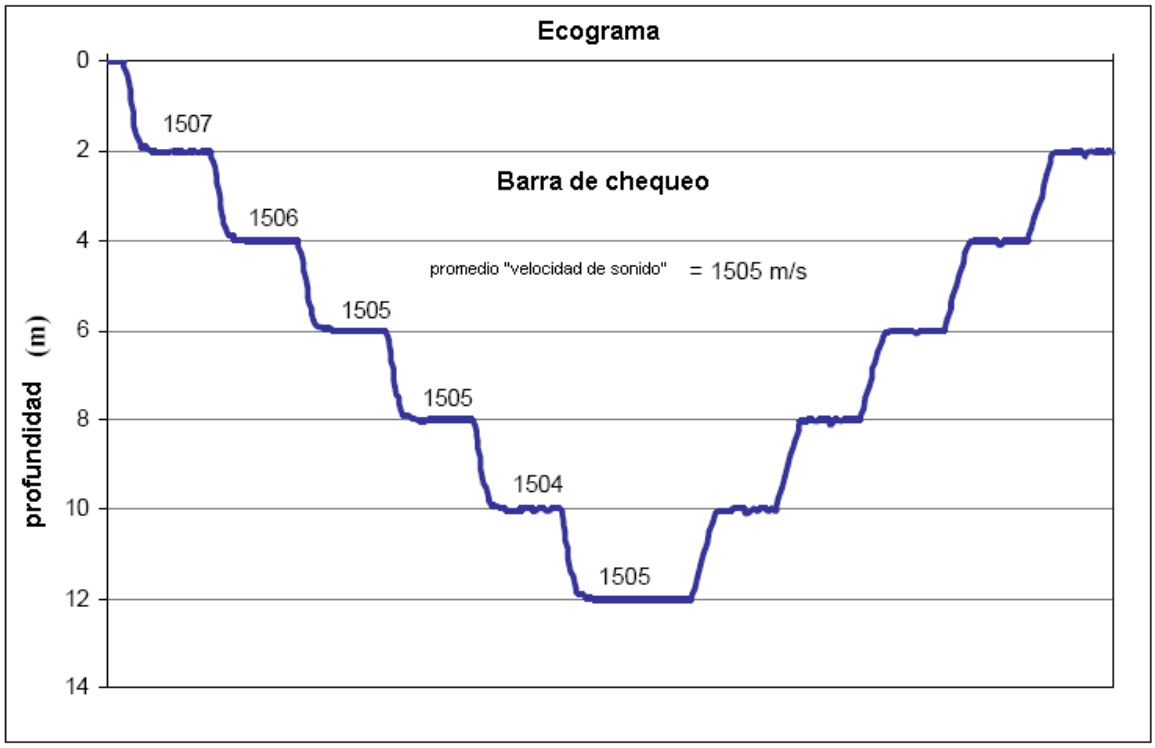


Fig. 3.24 "Ilustración de la barra de chequeo"

c) Un método combinado puede ser también utilizado con el transductor de calibración y un perfilador de la velocidad del sonido. Este método es usualmente utilizado para profundidades mayores a las detalladas anteriormente. Con un perfilador de la velocidad del sonido y el ajuste de la velocidad de sonido verdadera en el calado del transductor, se sigue un procedimiento similar al descrito en b). En ecosondas mucho más modernos, el parámetro de la velocidad del sonido es fijado al de la velocidad del sonido actual.

   La corrección de la profundidad es calculada durante el procesado de los datos, asumiendo que los datos fueron recolectados usando la velocidad del sonido verdadera en el calado del transductor. La corrección de la profundidad se basa en la diferencia entre la velocidad del sonido usada durante la recolección de los datos y la media armónica de la velocidad del sonido calculada del perfil de la velocidad del sonido.

Para profundidades mayores a los 200 metros, no se necesitan corregir las profundidades medidas por la velocidad del sonido, una velocidad de sonido estándar de 1500 m/s es usada normalmente o los valores pueden ser seleccionados de las Tablas de Mathews (N.P. 139).

5.1.3 Operación y registro de los datos

La operación de un ecosonda individual debe ser referida a la del Manual del Operador. Sin embargo, es importante resaltar los siguientes aspectos:

- Antes de comenzar el levantamiento es necesario calibrar el ecosondas a la velocidad del sonido real;
- Una escala general, adecuada para las profundidades esperadas, debe ser seleccionada;
- El canal de frecuencia debe escogerse de acuerdo a su capacidad de rango;
- Cuando se utilice un ecosonda análogo, es esencial fijar la ganancia y la intensidad de la grabación para producir un trazado legible.

5.1.4 Fuentes de error y técnicas de control de calidad

Los errores en la determinación de la profundidad pueden ser divididos en tres categorías: errores grandes (equivocaciones), errores sistemáticos y errores aleatorios.

La equivocación es la terminología usada para definir errores hechos por máquinas; éstas son causadas por defectos mecánicos o por componentes electrónicos.

Los errores sistemáticos son principalmente el resultado de compensaciones (errores fijos) o inclinaciones (errores que varían bajo condiciones diferentes) en sensores de movimiento de la nave de levantamiento, la desalineación del transductor y de otros sensores montados en ángulos. Estos errores pueden ser corregidos fácilmente si la señal y el tamaño del error sistemático pueden ser definidos. Esta categoría puede ser determinada y removida durante la calibración del sistema.

Después de retirar las equivocaciones y los errores sistemáticos en los datos de profundidad, los errores aleatorios se quedarán y éstos pueden ser analizados usando las técnicas estadísticas.

Los hidrógrafos deben estar pendientes de las fuentes que contribuyen al error de profundidad y a su impacto individual. Esta sección identifica varios tipos y presenta las técnicas normales usadas para el control de calidad.

5.1.4.1 Debido a la inclinación del fondo - tomando en consideración las diferentes inclinaciones del fondo marino, en la Figura 3.25, el error de la medición de la profundidad, **dz,** depende del ancho del haz y de la inclinación. Si no se aplica ninguna corrección, la profundidad del error se dará por:

$$dz = \begin{cases} z_m\left(\sec(\zeta) - 1\right) & \text{if} \quad \zeta < \dfrac{\phi}{2} \\ z_m\left(\sec\left(\dfrac{\phi}{2}\right) - 1\right) & \text{if} \quad \zeta > \dfrac{\phi}{2} \end{cases} \qquad \textbf{(3.40)}$$

Donde $\frac{\phi}{2}$ es la mitad del ancho del haz y ζ es la inclinación del fondo marino.

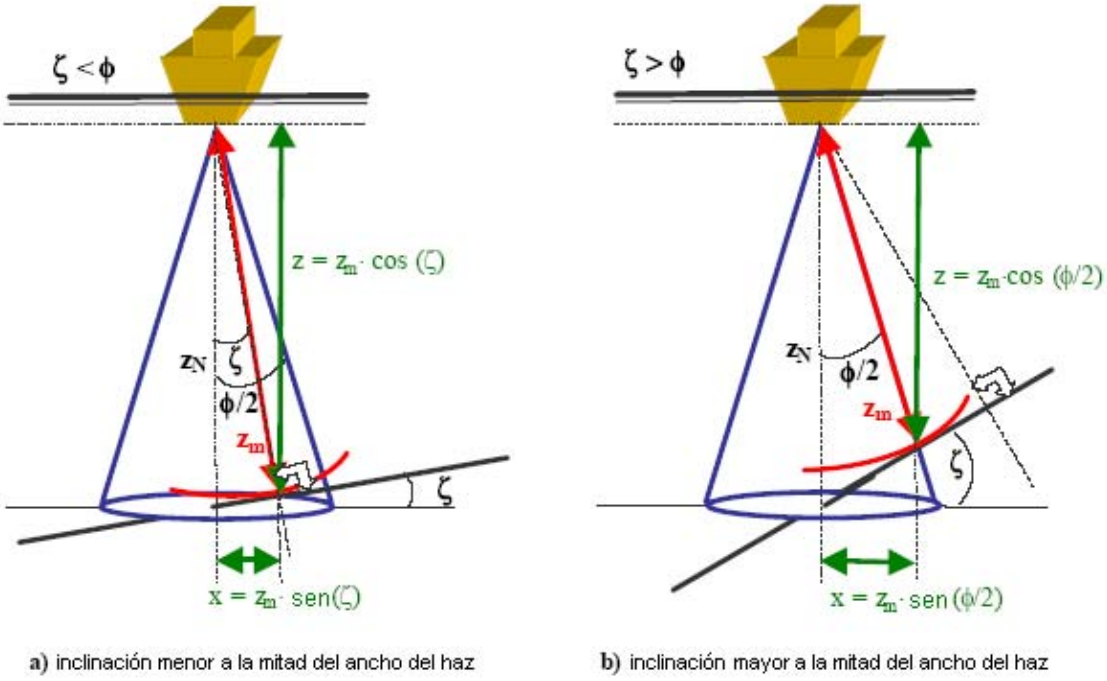


Fig. 3.25 "Efecto del ancho del haz y de la inclinación del fondo marino en la medición de la profundidad y el posicionamiento"

5.1.4.2 Debido a la velocidad del sonido. La variación de la velocidad del sonido es difícil de monitorear y produce, en los ecosondas de haz único, errores en la medición de la profundidad (**dz_m**), proporcional al error medio de la velocidad del sonido o a la variación (**dc**) y a la profundidad.

$$dz_c = \frac{1}{2} \cdot t \cdot dc \qquad \textbf{(3.41)}$$

o

$$dz_c = z \cdot \frac{dc}{c} \qquad \textbf{(3. 42)}$$

La magnitud del error de la velocidad del sonido varía con:

a) la exactitud de la determinación de la velocidad del sonido
b) la variación temporal de la velocidad del sonido
c) la variación espacial de la velocidad del sonido

Note que la variancia de la profundidad $\sigma_{z_c}^2$ debido al error de medición de la velocidad del sonido y a la variación de la velocidad del sonido está escrito como,

$$\sigma_{z_c}^2 = \left(\frac{z}{c}\right)^2 \left(\sigma_{c_m}^2 + \sigma_c^2\right) \qquad \textbf{(3. 43)}$$

Donde $\sigma_{c_m}^2$ es la variancia de la medición de la velocidad del sonido y σ_c^2 es la variancia de la velocidad del sonido debido a las variaciones espaciales y temporales.

La variación de la velocidad del sonido, temporal y espacial, es una contribución externa mayor a los errores de medición de la profundidad. Es importante, que durante la planeación del levantamiento o al comenzar el levantamiento, llevar a cabo un número de mediciones de la velocidad del sonido o de los perfiles de la velocidad del sonido a través del área de estudio distribuidos durante el día para ayudar al hidrógrafo a decidir la frecuencia y la ubicación de los perfiles a ser conducidos dentro del área de estudio durante las operaciones de agrupación de datos.

5.1.4.3 Debido a la medición del tiempo Un ecosondas efectivamente mide el tiempo, convierte la medición en profundidad. El error en la medición del tiempo. **dt,** se relaciona directamente al error de profundidad, **dz_t.** En los ecosondas modernos, el error en la medición del tiempo es usualmente pequeño y constante. Este error es también tomado en cuenta durante la calibración.

$$dz_t = \frac{1}{2} c \cdot dt \qquad \textbf{(3. 44)}$$

El error mayor es una función de identificación del punto de medición dentro del eco, es decir, en los algoritmos usados para la detección de la señal.

Note que la variancia de profundidad, $\sigma_{t_m}^2$, debido al error de la medición de tiempo está escrita como,

$$\sigma_{z_t}^2 = \left(\frac{1}{2} c\right)^2 \sigma_{t_m}^2 \qquad \textbf{(3. 45)}$$

Donde $\sigma_{t_m}^2$ es la variancia de la medición de tiempo.

5.1. 4.4 Debido al rolido, cabeceo y bandeo. El rolido y el cabeceo contribuyen al error en la medición de la profundidad cuando la magnitud de aquellos ángulos es mayor a la mitad del ancho del haz. $\frac{\phi}{2}$. La Figura 3.26 describe el error en la medición de la profundidad y en el posicionamiento debido al rolido, θ_R, esta figura puede ser adaptada para el cambio de cabeceo θ_R por θ_P.

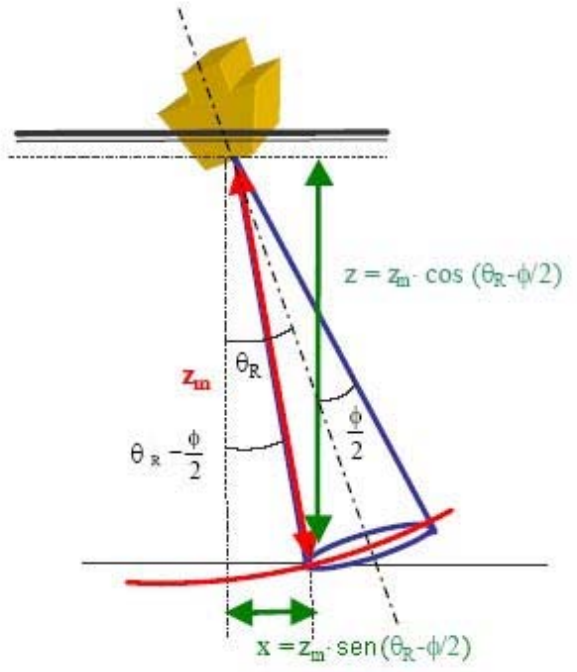


Fig. 3.26 "Efecto del ancho del haz y de la inclinación del fondo marino en la medición de la profundidad y el posicionamiento

Los ecosondas de haz ancho son usualmente inmunes al rolido y al cabeceo de la nave de levantamiento.

Para los ecosondas de haz angosto, este efecto puede ser compensado con la estabilización del haz, es decir, manteniendo el haz vertical sin importar el comportamiento de la nave o corrigiendo la profundidad medida como sigue:

$$dz_{roll} = \begin{cases} z_m\left(1-\cos\left(\theta_R - \frac{\varphi}{2}\right)\right) & \text{if} \quad \theta_R > \frac{\varphi}{2} \\ 0 & \text{if} \quad \theta_R < \frac{\varphi}{2} \end{cases} \qquad \textbf{(3.46)}$$

El bandeo (**h**), es el efecto causado por la acción del mar y del oleaje en la nave de levantamiento, es medido con los sensores internos o compensadores de bandeo. El compensador de bandeo debe ser localizado sobre el transductor para medir el bandeo en el mismo eje vertical.

Cuando se usan los sensores internos, la instalación debe estar cerca del centro de gravedad de la nave de levantamiento con el nivelador conocido desde el centro de gravedad al transductor; con los ángulos instantáneos del rolido y del cabeceo, el bandeo medido, $\mathbf{h_m}$, puede ser transferido a la posición del transductor, $\mathbf{h_t}$, con la utilización del bandeo inducido, $\mathbf{h_i}$, (Figura 3.27).

$$h_t = h_m + h_i \qquad \textbf{(3. 47)}$$

Para calcular el bandeo inducido, considere la nave como un si fuera un cuerpo rígido que es libre de rotar alrededor de los tres ejes (x, y, y z) como se mencionó en el 3. La rotación en el

centro de gravedad (rolido y cabeceo), cerca del que se mide el bandeo generalmente, corresponde a la variación de profundidad del transductor, desde la referencia de la nave (identificada con la letra **V**) a un sistema de coordenadas local (Identificado con la letra **L**)**.** Esta diferencia es llamada balanceo inducido.

El balanceo inducido, adoptado por Hare (1995) para los marcos de referencia definidos en el 3 y el Anexo A, es dado por:

$$h_i = z_t^L - z_t^V = -x_t^V \sin(\theta_P) + y_t^V \cos(\theta_P)\sin(\theta_R) + z_t^V(\cos(\theta_P)\cos(\theta_R) - 1) \qquad \textbf{(3.48)}$$

Donde $\boldsymbol{\theta_R}$ es el ángulo del rolido, $\boldsymbol{\theta_P}$ es el ángulo del balanceo y ($\mathbf{x_t}$, **yt** y $\mathbf{z_t}$) son las coordenadas del transductor.

El error total de la medición de la profundidad debido al balanceo es entonces,

$$dh = dh_m + dh_i \qquad \textbf{(3. 49)}$$

Donde $\mathbf{dh_m}$ es el error de la medición del balanceo y $\mathbf{dh_i}$ es el error en la determinación del balanceo inducido.

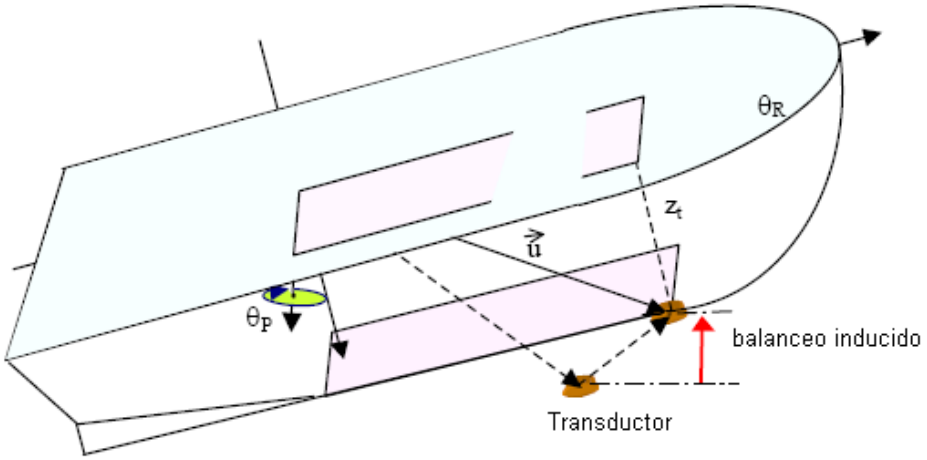


Fig. 3.27 "Balanceo inducido"

Note que la variancia del balanceo inducido es dependiente de la exactitud de la compensación del transductor desde el sensor de movimiento y desde la exactitud de los ángulos de rolido y cabeceo (Hare, 1995).

La variancia total del balanceo corresponde a la variancia de la profundidad, σ_h^2 , es decir,

$$\sigma_h^2 = \sigma_{hm}^2 + \sigma_{hi}^2 \qquad \textbf{(3.50)}$$

Donde σ_{hm}^2 es la variancia de la medida del balanceo y σ_{hi}^2 es la variancia del balanceo inducido. Este último error es típicamente insignificante cuando se compara con el error de la medida del balanceo.
Cuando no hay un compensador de balanceo, es posible manualmente suavizar los datos en el trazado del eco. Esta tarea requiere de la experiencia considerable en la interpretación del trazado del eco para

preservar las características del fondo marino. El procedimiento general, en condiciones de rolido insignificantes, es que el trazado del eco debe ser suavizado hasta la mitad entre las crestas y las depresiones (Figura 3.28).

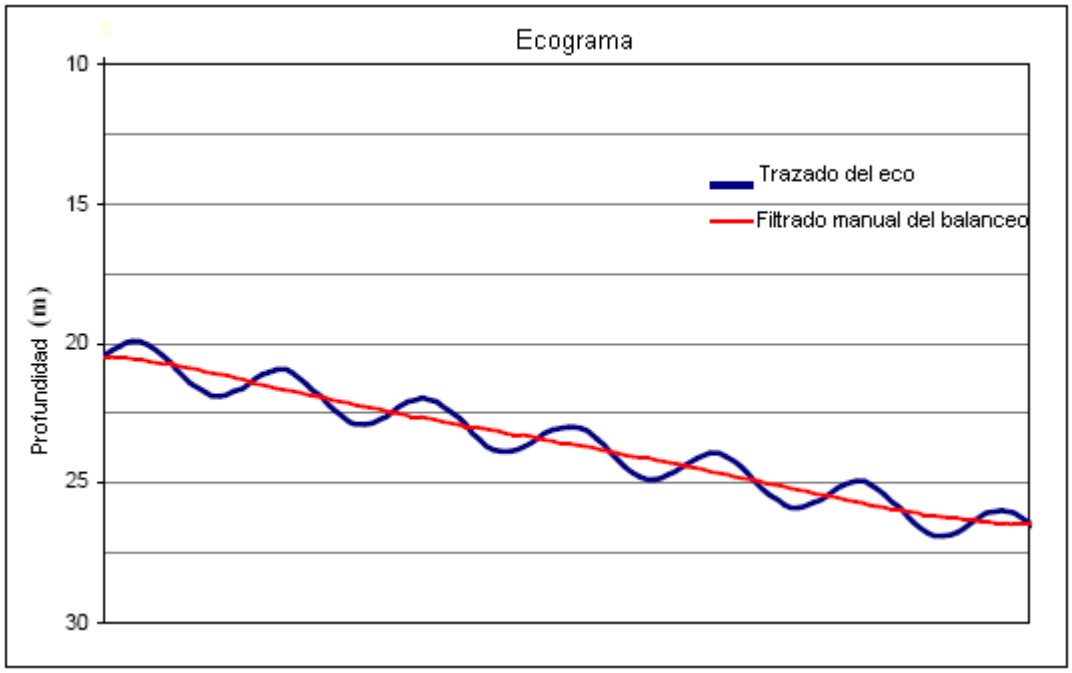


Fig. 3.28 "Filtrado manual de balanceo"

5.1. 4.5 Debido al calado, asiento, asentamiento y posición relativa del transductor. La medición exacta del calado del transductor es fundamental para la exactitud del total de la profundidad. Aún así, es necesario actualizar ese valor durante el levantamiento. Las razones para la variación del calado son principalmente debido al consumo de combustible y de agua. La variación del calado, para el mismo desplazamiento, aumenta con el descenso del área flotante en la superficie del mar. El error del calado se propaga directamente como un error de profundidad, $\mathbf{dz_{draught}}$.

El asiento es la rebaja en el nivel de una nave en movimiento, relativa a su nivel en estado de inmovilidad. Este efecto, particularmente notable en aguas pocas profundas, es debido a la depresión regional de la superficie del agua en la que se mueve la nave. El error de profundidad debido al asiento es referido como $\mathbf{dz_{settlement}}$.

El asentamiento es otro efecto que toma lugar bajo condiciones dinámicas, el cambio en el nivel de la proa y de la popa desde el resto de la condición en respuesta a la elevación y la depresión del nivel de agua en el casco resultando de los sistemas de olas de la proa y de la popa. En las naves de levantamiento donde el cambio en el asentamiento es importante, se calcula usualmente en una tabla contra la velocidad de la nave. El error de profundidad debido al asentamiento es referido como $\mathbf{dz_{squat}}$.

La posición relativa del transductor desde el sensor de movimiento o el compensador de balanceo necesita ser tomado en cuenta para corregir la profundidad medida para el balanceo inducido, ver 5.1.4.4.

El error total dado por la posición del transductor a la línea de agua **dz_i** es:

$$dz_i = \sqrt{dz_{draught}^2 + dz_{settlement}^2 + dz_{squat}^2} \quad \textbf{(3.51)}$$

Note que la variancia total de profundidad después de la inmersión del transductor está escrita como:

$$\sigma_i^2 = \sigma_{draught}^2 + \sigma_{settlement}^2 + \sigma_{squat}^2 \quad \textbf{(3. 52)}$$

Donde $\sigma_{draught}^2$ es la variancia del calado, $\sigma_{settlement}^2$ es la variancia del asiento y σ_{squat}^2 es la variancia del asentamiento.

5.1.4.6 Grabado de la lectura y resolución El grabado de la lectura y la resolución para la medición de profundidad es dependiente de los principios operacionales del ecosonda. En el caso del grabado análogo, el operador debe seleccionar los parámetros del ecosonda apropiado durante las operaciones de levantamiento para tener, en lo posible, un trazado limpio de eco y una resolución adecuada. Por otra parte, el grabado digital no tiene más ese grado de dependencia del operador durante en levantamiento pero la supervisión es requerida durante la recolección de los datos.

Cuando los datos son grabados en papel, es necesario seleccionar la ganancia y la intensidad para el grabado legible; también es necesario tener una escala vertical con la discriminación suficiente. Es común usar escalas de fases por esa razón (ver 5.1.1.1).

El trazado del eco debe ser preparado para la lectura; esta tarea consiste en identificar puntos del fondo del mar que pueden ser seleccionados para la lectura de la profundidad. Esto es hecho normalmente con la ayuda de una tabla digitalizadora.

El error asociado con la lectura grabada depende de la experiencia y el cuidado del hidrógrafo. Considerando el ancho de grabado de papel de 20 centímetros y una escala de 0-200 metros, un error de lectura de 0,5 mm producirá un error en la profundidad de 0,5 metros. Por lo que, esta escala no es adecuada para la grabación de la profundidad en aguas poco profundas. El error de lectura es referido como **dz_{read}**, con una variancia σ_r^2.

5.1.4.7 La interpretación de un trazado de eco es la responsabilidad del hidrógrafo. La interpretación requiere de la experiencia de identificar formas particulares, ecos múltiples y los ecos falsos.

a) Los ecos falsos – son causados por un problema extraño como las algas o los peces en la columna de agua (Fig. 3.29), por las capas de agua separadas por cambios bruscos de temperatura o salinidad o por ambas.

Los ecos falsos son grabados ocasionalmente por los ecosondas y pueden ser interpretados equivocadamente como profundidades correctas. En casos de duda sobre la validez de las profundidades medidas, se debe hacer una investigación de ese sondeo y, si es necesario, rehacer la parte específica de la línea de levantamiento.

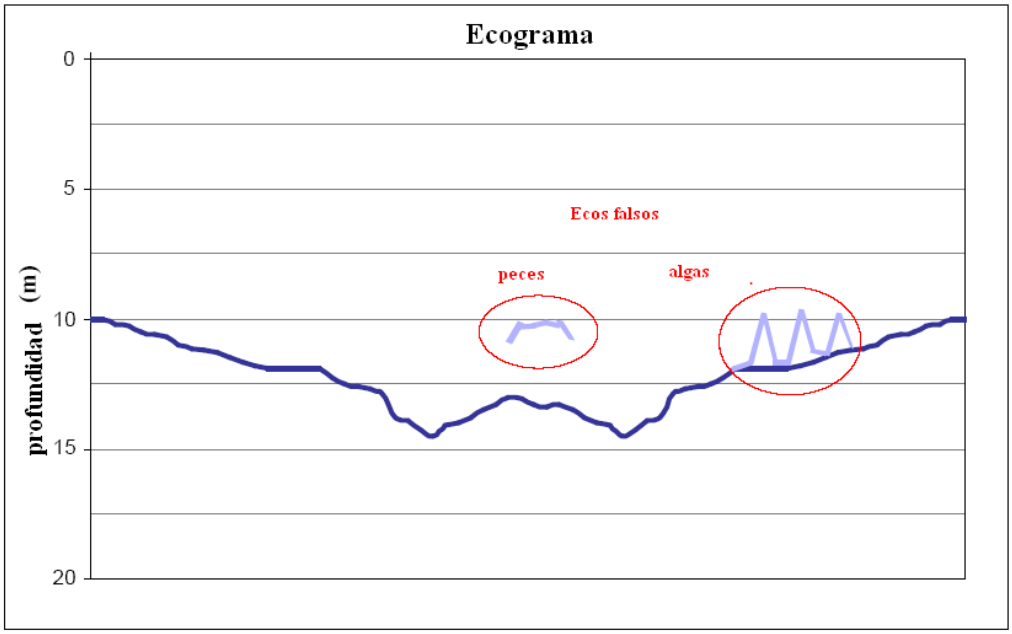


Fig. 3.29 "Ecos falsos"

b) Ecos múltiples – Son ecos recibidos subsiguientes al primero debido a la multiplicidad de reflexiones en ambos sentidos entre el fondo marino y la superficie. Estos reflejos son grabados generalmente como múltiples de la primera profundidad (Figura 3.30)

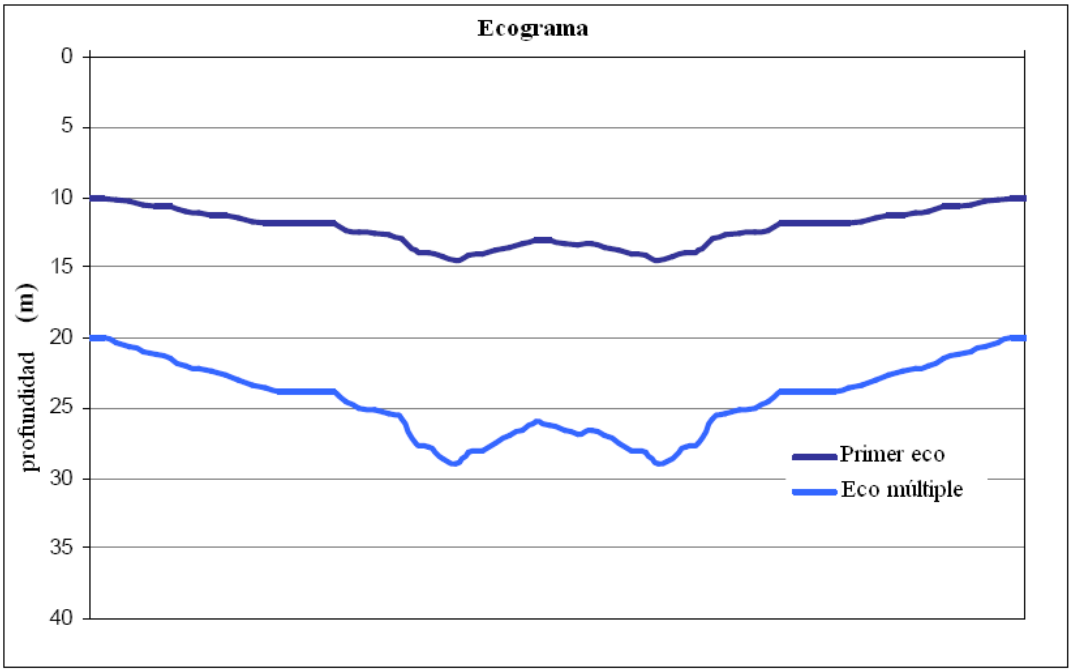


Fig. 3.30 "Grabado de ecos múltiples"

c) El balanceo – es el levantado y caído oscilatorio de la nave debido al levantamiento del casco entero por la fuerza del mar. Puede ser compensado durante la adquisición de un sensor de balanceo o puede ser filtrado manualmente más adelante. La experiencia del hidrógrafo es la herramienta usada para ese propósito, aunque; es difícil algunas veces diferenciar el balanceo en un fondo marino regular.

d) Ecos laterales - También son llamados ecos falsos pero ellos son el resultado de la detección del eco en los lóbulos laterales que resultan en errores de la medida de profundidad y del posicionamiento (ver 4.2)

e) Sedimentos no consolidados - son detectados normalmente por las altas frecuencias de los ecosondas. En aguas poco profundas, es recomendado que dos frecuencias sean usadas al mismo tiempo para diferenciar los sedimentos suaves de la cama de rocas (Figura 3.31).

5.1.4.8 Reducción de la profundidad. Las profundidades medidas, corregidas por el comportamiento de la nave de levantamiento, son reducidas al datum vertical por la aplicación de la marea. El error de profundidad dado por la medición del error de la marea es referido como $\mathbf{dz_{tide}}$.

Adicionalmente al error en la medición de la marea, un error más importante es la corrección co-marea que resulta de la diferencia de la marea actual en el área de estudio y el indicador de la marea. El error de profundidad de un error co-marea es $\mathbf{dz_{co\text{-}tidal}}$. Esto puede ser muy significativo en algunas millas de distancia del indicador de área (ver Capítulo 4). Un modelo co-marea o de promedios de peso de dos o más indicadores de mareas puede ser requerido.

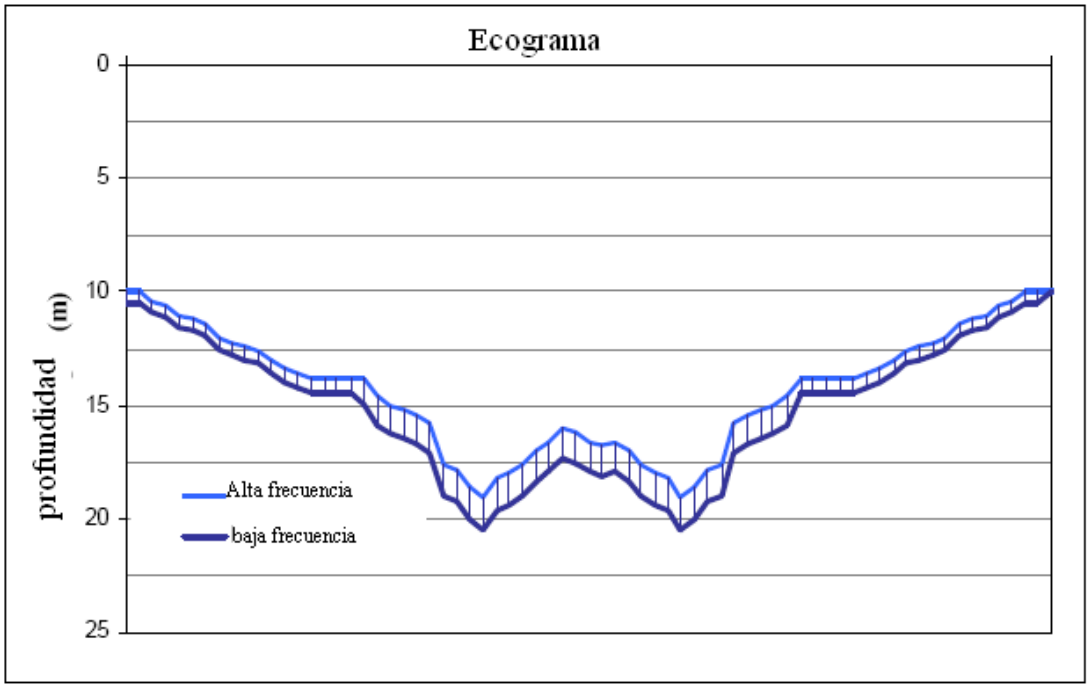


Fig. 3.31 "Grabado de dos canales"

Note que la variancia de la marea σ^2_{tide} dada la medición del error y la variación co-marea es escrita como,

$$\sigma^2_{\text{tide}} = \left(\sigma_{\text{tide m}}{}^2 + \sigma^2_{\text{co-tidal}}\right) \qquad \textbf{(3. 53)}$$

Donde $\sigma_{\text{tide m}}{}^2$ es la variancia de la medición de la marea y $\sigma^2_{\text{co-tidal}}$ es el componente de la variancia co-marea.

La determinación de la marea usando el GPS-RTK (Cinemática de Tiempo Real) dará la determinación exacta de la marea local, sin embargo, el cálculo de la marea necesita de un modelo de las diferencias entre el elipsoide de referencia, el WGS8 4 y el datum vertical.

El control de calidad es hecho por cálculos estadísticos basados en la comparación de los sondeos desde las líneas de chequeo contra los sondeos vecinos de las líneas de levantamiento. Los resultados estadísticos de la comparación deben cumplir con las recomendaciones de exactitud en el S-44 (Fig. 3.32).

De a cuerdo a los errores presentados anteriormente, la variancia de profundidad reducida estimada es escrita como sigue:

$$\sigma_z^2 = \sigma_{z_c}^{\ 2} + \sigma_{z_t}^{\ 2} + \sigma_h^2 + \sigma_i^2 + \sigma_r^2 + \sigma_{tide}^2. \qquad \textbf{(3. 54)}$$

El error estimado en la profundidad reducida, en el 68 por ciento o nivel de confianza (1σ), es obtenido por la raíz cuadrada de la ecuación 3.54. Asumiendo que los errores componentes siguen aproximadamente una distribución normal, el error estimado de la profundidad reducida, en el 95 por ciento de nivel de confianza (2σ), es obtenido al sustituir cada variancia σ^2 con $(2\sigma)^2$.

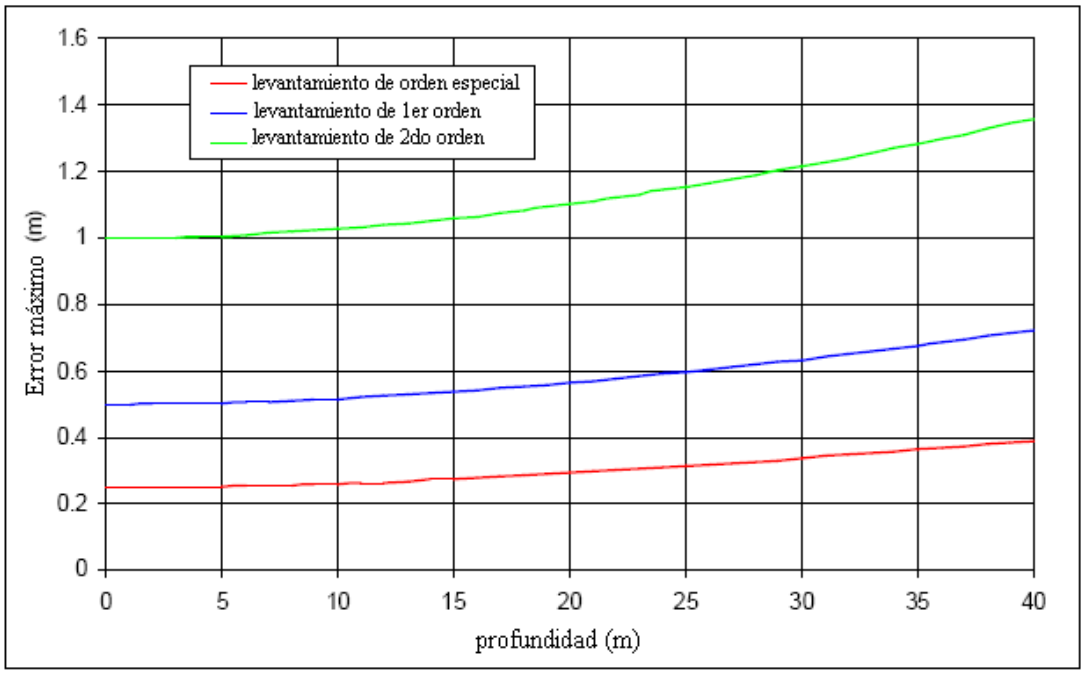


Fig. 3.32 "Requerimientos de exactitud de profundidad mínima para Orden Especial, 1er Orden y 2da Orden (S-44)

Para cada sistema de levantamiento es recomendado que se cree un estimado de error para evaluar la conformidad con los requerimientos del S-44. La figura 3.33 representa la estimación del error para un ecosonda particular y para condiciones de operaciones particulares.

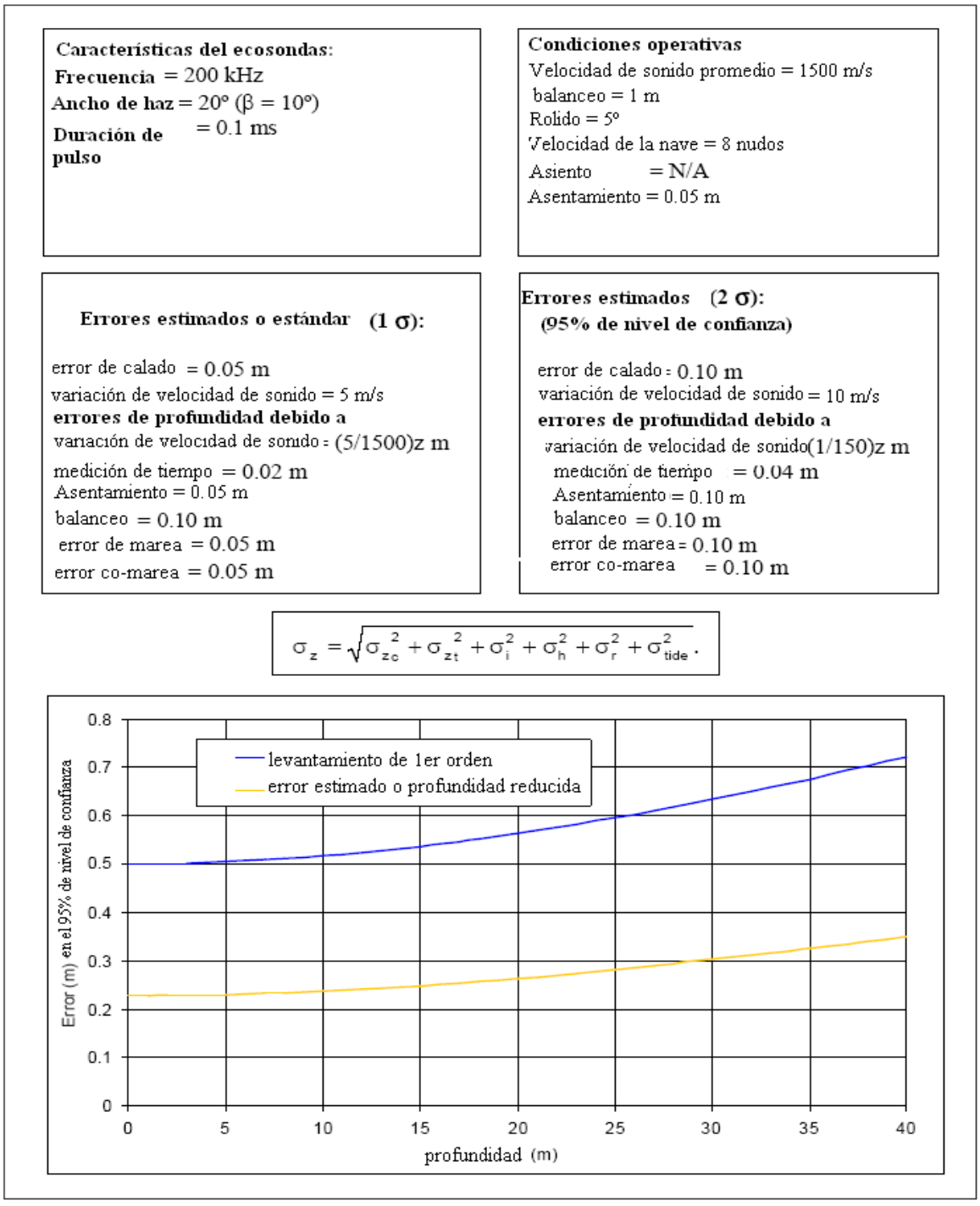


Fig. 3.33 "Estimación del error de profundidad"

5.2 Sistemas de bandas

Los sistemas de banda miden la profundidad en una línea del fondo marino extendiéndose hacia fuera del transductor sonar. Estos sistemas son arreglados de una manera que el perfil, la línea donde se realizan las mediciones, se quede en los ángulos correctos a la dirección del movimiento de la nave del levantamiento. A medida que la nave se mueve, el perfil barre una banda en la superficie del fondo marino, conocido como banda.

Esta sección describe los sistemas de multihaz y los sonares interferométricos.

5.2.1 Los sistemas de multihaz

Los MBES son una herramienta valiosa para la determinación de la profundidad cuando se necesita la cobertura total del fondo marino. Estos sistemas pueden permitir la zonificación completa del fondo marino con el consiguiente aumento de la resolución y la capacidad de detección.

5.2.1.1 Los principios de operación El principio de operación de un multihaz está, en general, basado en una transmisión de pulso en forma de ventilador dirigido hacia el fondo marino y después de la reflexión de la energía acústica por el fondo del mar; algunos haces están formados electrónicamente, usando las técnicas de procesado de señal, con los ángulos de haz conocidos. El tiempo de viaje de ambas direcciones entre la transmisión y la recepción es calculada por los algoritmos de la detección del fondo del mar. Con la aplicación del trazado de rayos (ver 5.2.1.8.1), es posible determinar la profundidad y la distancia transversal del centro de la zona sondeada.

El haz transmisor es ancho al través y angosto a lo largo; recíprocamente, los haces formados durante la recepción son angostos al través y anchos a lo largo. Las intersecciones de estos haces en el plano del fondo del mar son las huellas (áreas sondeadas) para las que las profundidades son medidas.

Ya que las profundidades son medidas desde una plataforma flotante, con seis grados posibles de libertad (tres traslaciones y tres rotaciones), para el cálculo preciso de la medida de la profundidad y su posicionamiento asociado, las mediciones exactas de latitud, longitud, balanceo, rolido, cabeceo y rumbo son requeridas.

A. **La detección del fondo** es el proceso usado en MBES para determinar el tiempo de llegada y la amplitud de la señal acústica, representando un reflejo del fondo del mar. La confiabilidad de este proceso afecta la calidad de las mediciones. Las equivocaciones de la profundidad pueden ser, entre otros factores, relacionadas al bajo comportamiento de los algoritmos utilizados para la detección del fondo marino. Los algoritmos de detección del fondo marino se pueden categorizar en dos divisiones principales: detección por amplitud y los algoritmos de detección por fase.

a) **Detección por Amplitud.** La matriz del transductor emite un pulso acústico hacia el fondo del mar y entonces empieza el período de escuchar. En esta fase, la señal de retorno es muestreada en tiempo para cada ángulo de haz. El tiempo de viaje de la señal para el punto de profundidad correspondiente es definido por la amplitud detectada de la señal refleja (figura 3.34).

Los métodos más comunes de detección de amplitud son como siguen:

i) Borde principal de las Señales Reflejadas. Este método es comúnmente utilizado cuando el ángulo de incidencia de la señal acústica al fondo marino es de aproximadamente cero grados. El tiempo de detección del fondo es definido por la primera llegada dentro del ángulo del haz.

Con el aumento del ángulo de incidencia, la señal de retorno pierde su nitidez (tiempo corto) y el método de borde principal no se comporta bien. Se pueden emplear otros dos métodos, que toman en cuenta la variación de las muestras de fuerza de la señal reflejadada a través de la huella del haz.

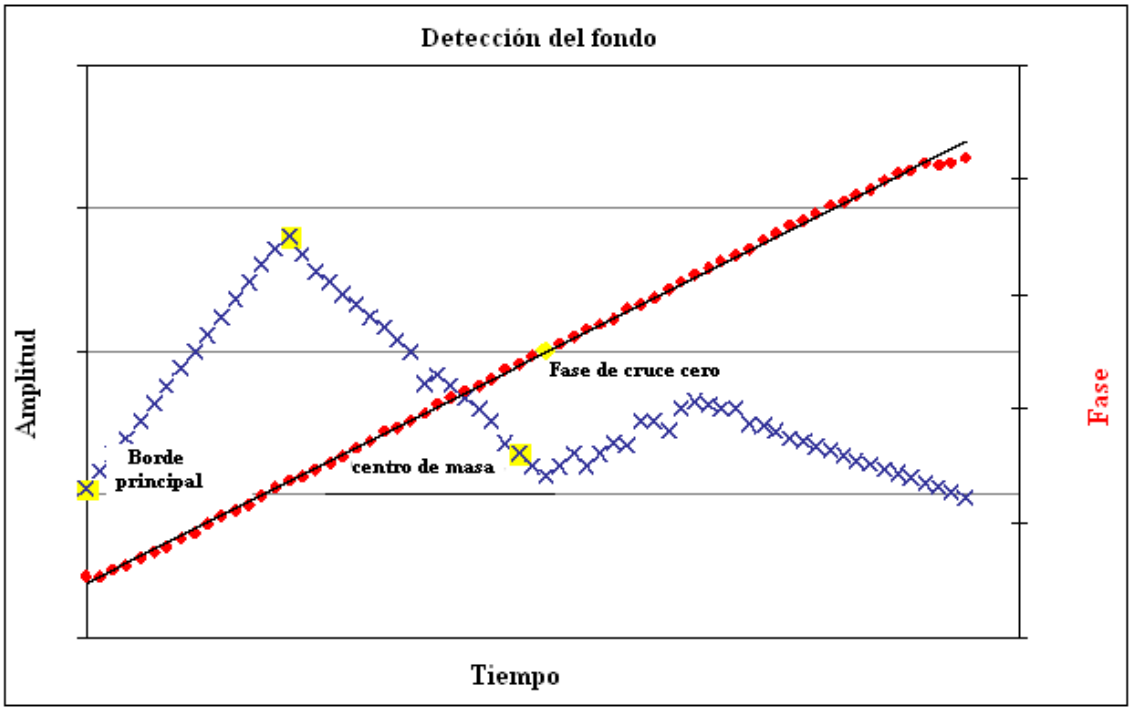


Fig. 3.34 "Métodos de detección del fondo (detección de señal)"

ii) Amplitud máxima de la Señal Reflejada. La detección del fondo es definida por el tiempo de máxima amplitud dispersa.

iii) El centro de la masa de la Señal Reflejada. Este método consiste en determinar el tiempo correspondiente del centro de gravedad de la amplitud de la señal.

b) **Detección por fase.** La detección por amplitud es la técnica usada para los haces interiores (cerca del nadir), donde la amplitud dispersa tiene valores más altos y un menor número de muestras. Para los haces exteriores, la amplitud dispersa decae y el número de muestras se vuelve muy grande. En consecuencia, el eco es tan manchado en el tiempo que los métodos de detección por amplitud obtienen pocos resultados. En contra de un fondo inclinado en dirección al través lejos del tipo, la mancha del eco es también resaltada. Entonces, el método de detección por fase es comúnmente usada para ángulos de incidencia grandes.

En esta técnica, el alineado del transductor para cada haz es dividido en dos sub alineaciones, casi siempre solapadas, con los centros de las sub alineaciones se separa un número de ondas de alcance. Las direcciones angulares están predeterminadas y cada sub alineación forma un haz en esa dirección, la ventaja es que en el caso de la llegada de ecos simultáneos de distintas direcciones, el sistema MBES resuelve sólo los ecos en la dirección del haz formado. La secuencia de diferencia de estimados de fase son usados entonces para estimar el tiempo de llegada del eco en la dirección predeterminada al encontrar el cruce cero de la secuencia de fase (de Moustier, 1993). La figura 3.35 muestra un ejemplo del método de detección de fase. El equivalente del centro de las dos sub alineaciones esta representado por ***A*** y ***B*** en una distancia ℓ de separación entre ellas, donde θ es el ángulo de la señal recibida medida desde el eje acústico. Un polinomio de segundo orden puede ser fijado a una secuencia limitada de estimados de fase diferencial para refinar la dirección de la fase de cruce cero.

Cuando la señal de retorno viene de la dirección del eje acústico, es decir θ = 0, las señales en las dos sub alineaciones están en la fase, y esta corresponde al tiempo de viaje acústico.

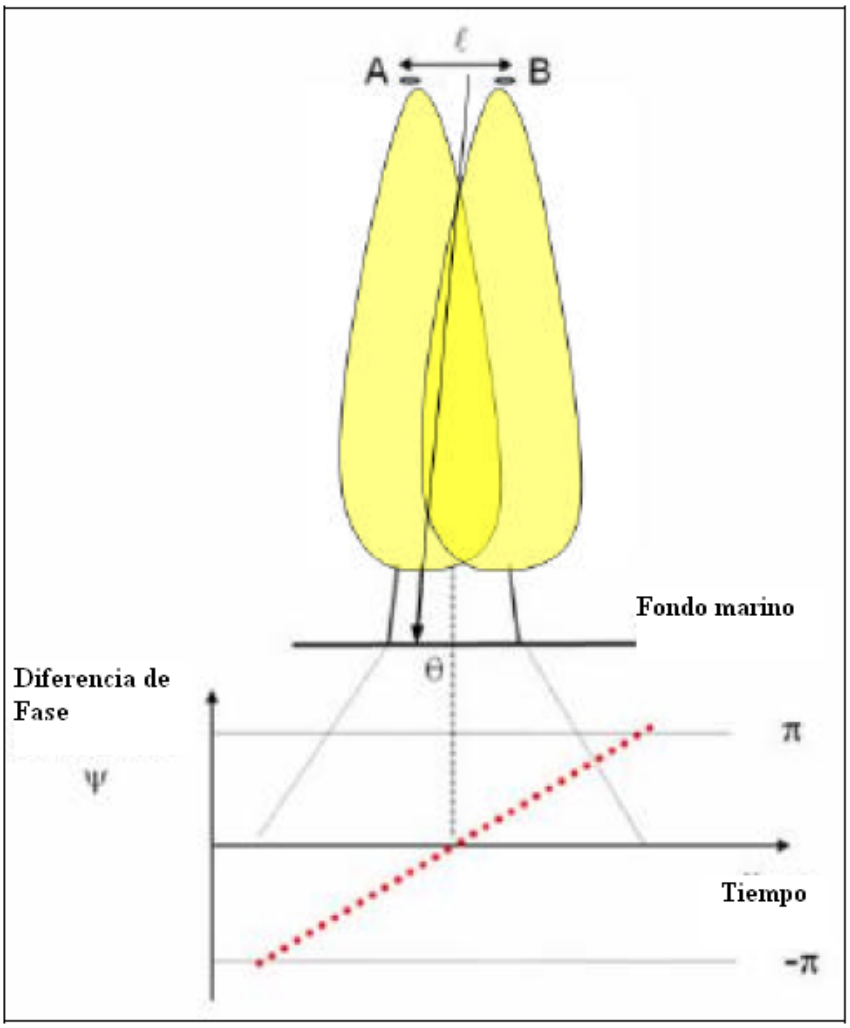


Fig. 3.35 "Métodos de detección del fondo por la diferencia de fase (fase de cruce cero)"

A través de la banda, una combinación de la amplitud y la detección de fase es usualmente requerida para la detección del fondo robusto. Cerca del nadir, la detección de la amplitud debe ser usada dado el hecho de que las series de tiempo de estos haces es muy corta para la detección de una fase robusta. La detección de la amplitud es también usada en el caso de las inclinaciones empinadas que ocurren alejadas del nadir, asociadas con las alturas batimétricas, excepto para el caso extremo de un fondo marino que esta inclinado empinadamente lejos del transductor. La detección de la fase para los haces del nadir tiende más a ser el resultado de un error (equivocación) debido a los retornos de la columna de agua media o debido a los altos retornos de los lóbulos laterales. Las detecciones lejos del nadir son mejores en la fase pero la detección de la amplitud puede ser escogida cuando un retorno más alto es causado por la diferencia de las propiedades de reflexión del objetivo, por un reflejo de un brillo cercano o por una variancia grande de la curva lograda. Estas condiciones pueden ocurrir debido a los efectos como las ruinas y los conglomerados.

B. Transformación Fourier Rápida (FFT)

De acuerdo al 4.2, durante la formación del haz las señales de cada elemento de la alineación son copiadas para cada haz. La suma de la amplitud de los **N** elementos del transductor es en sí misma una transformación Fourier del vector, con **N** elementos, correspondientes al patrón de radiación del arreglo de elementos. Si N es una fuerza de 2 el cálculo es de menor demanda y la transformación Fourier es llamada Transformación Fourier Rápida[45]. Este método tiene la ventaja de acelerar el proceso de formación de haces.

Los detalles de este método están señalados en de Moustier (1993).

5.2.1.1. Exactitud. La medición del rango y del ángulo del haz para los sistemas multihaz es más compleja que para los ecosondas de haz simple. En consecuencia, hay un número de factores que contribuyen al error en esas mediciones, incluyendo: el ángulo del haz, el ángulo incidente del fondo marino, el ancho del haz de transmisión y de recepción, el comportamiento y la exactitud del balanceo, la detección de los algoritmos del fondo y el perfil de variación de la velocidad del sonido.

Es necesario usualmente calcular el error estimado basado en esos factores (ver 5.2.1.8).

5.2.1.2 Resolución. Los sistemas de multihaz con su capacidad de zonificación del total del fondo marino contribuyen a una mejor representación del fondo marino y, comparado con los SBES, a una resolución gráfica más alta. Sin embargo, hasta donde le corresponde a las mediciones de profundidad, la resolución dependerá de la frecuencia acústica, los anchos de haces de transmisión y recepción y del algoritmo usado para realizar la detección del fondo.

La resolución en la medición de la profundidad es una función de fase de longitud de las dimensiones del área sondeada. El área sondeada de los ecosondas MBES, cerca a la incidencia normal, es relativamente pequeña, entonces la resolución es más grande que la del los ecosondas de haz simple.

5.2.1.3 La frecuencia de un MBES es seleccionada en base a la intención de uso del equipo, básicamente a los rangos de profundidad y a la resolución.

Las frecuencias de los MBES son típicamente:

a. Aguas más bajas a 100 metros: frecuencias mayores a 200 kHz;
b. Aguas más bajas a 1.500 metros: frecuencias desde 50 a 200 kHz;
c. Aguas más profundas a 1.500 metros: frecuencias de 12 a 50 kHz.

5.2.1.4 Sistema de sensores asociados e integridad

Los sistemas de multihaz, además del ecosonda como tal, incluyen:

a) Sensor de movimiento – para el comportamiento (rolido, cabeceo y dirección) y para la medición del balanceo. Actualmente, estos sensores tienen una unidad de medición inercial (IMU) y un par de receptores GPS con sus antenas respectivas. Como un resultado de la tecnología envuelta este sensor es también capaz de proveer el posicionamiento con gran exactitud;

[45] Es posible aplicar el FFT aún cuando N no es un fuerza 2 al agregar los elementos virtuales con la amplitud cero (padded zeros), ver de Moustier [1993].

b) Perfilador de velocidad de sonido – para medir la velocidad del sonido a través de la columna de agua;

c) Sonda de velocidad de sonido – para medir la velocidad del sonido a la cara del transductor. Este debe ser considerado obligatorio para alineaciones planas donde la dirección del haz es requerida;

d) Sistema de posicionamiento – como se dijo anteriormente, el posicionamiento en los nuevos sistemas de tecnología está integrado con sensores de movimiento. El GPS en modo seudo diferencial p en Cinemática de Tiempo Real (RTK) es el sistema comúnmente utilizado en el mundo entero;

e) El sensor del rumbo – también integrado en los sensores de movimiento, la solución óptima y más exacta es el rumbo obtenido por los receptores duales GPS.

5.2.1.5 Instalación y Calibración (patch test)

La instalación de los transductores de multihaz puede ser fijada en el casco, a un lado o sobre la proa. La instalación en el casco es usada en embarcaciones grandes o cuando es una instalación permanente, las otras instalaciones son usadas para propósitos temporales a corto plazo en naves pequeñas.

La calibración o prueba de retazos es un procedimiento esencial que consiste en determinar los ángulos compuestos (rolido, cabeceo y acimut) para el transductor y para el sensor de movimiento y la latencia del sistema de posicionamiento. Un análisis detallado y los procedimientos pueden encontrarse en Goldin (1996).

La calibración debe realizarse después de la instalación y después de largos períodos de inoperabilidad o después de cambios apreciables en la instalación.

Antes de la calibración es necesario chequear la instalación de los parámetros y hacer un perfil de velocidad de sonido para actualizar el cálculo de la solución de reflejo.

a) Posicionamiento con retardo de tiempo

El retardo de tiempo o latencia es el tiempo destacado entre la medición de la profundidad y el posicionamiento. El procedimiento para determinar el tiempo destacado consiste en correr dos pares de líneas de levantamiento a diferentes velocidades sobre un fondo marino inclinado, a medida que la gradiente es más empinada será más alta la resolución del parámetro. La inclinación debe ser regular y con suficiente extensión para garantizar el muestreo adecuado. La figura 3.36 ilustra la calibración con retardo de tiempo.

El retardo de tiempo es obtenido al medir el desplazamiento longitudinal de las sondas a lo largo de la inclinación debido a las diferentes velocidades de la nave. Para evitar cualquier influencia del cabeceo destacado las líneas deben ser corridas en el mismo curso.

El retardo de tiempo, δt, puede ser obtenido por la ecuación:

$$\delta t = \frac{\Delta x}{v_2 - v_1} \qquad \textbf{(3.55)}$$

Donde Δx es la separación horizontal entre los dos perfiles de sonido cerca al nadir, y v_1 y v_2 son las velocidades de la nave para la línea 1 y 2, respectivamente.

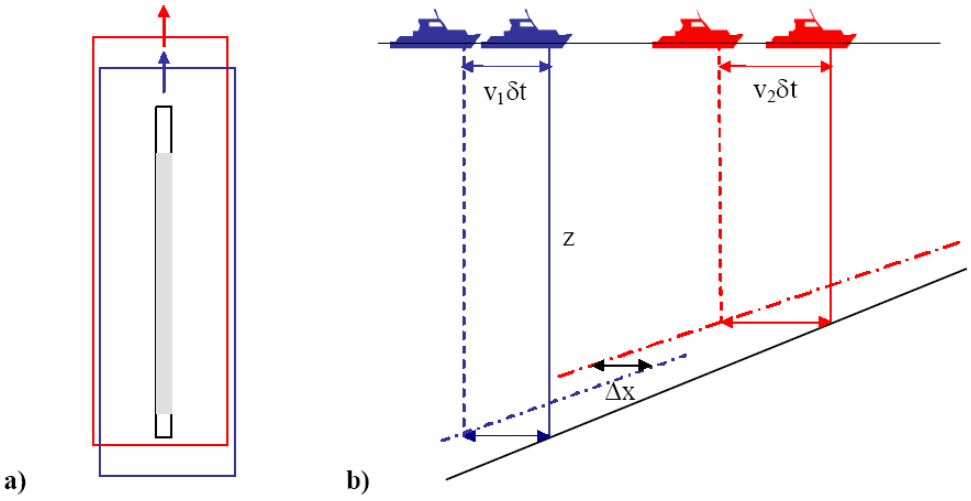


Fig. 3.36 "Calibración de retraso de tiempo

a) Vista desde arriba de las dos líneas;
b) Sección longitudinal donde la separación de los dos perfiles de sonido del fondo marino actual es visible."

b) Desfase por Cabeceo

El desfase por cabeceo es el ángulo compuesto destacado de la unidad de medición inercial y desde la alineación del transductor con el vertical local en el plano longitudinal de la nave. El procedimiento para determinar el cabeceo destacado consiste en correr dos pares de líneas de medición recíprocas a la misma velocidad sobre un fondo marino inclinado, como se mencionó en la calibración de retardo de tiempo, a medida que la gradiente es más pendiente más alta será la resolución de este parámetro. La inclinación debe ser regular y con la suficiente extensión para garantizar el muestreo adecuado. La figura 3.37 muestra la calibración del cabeceo destacado.

Luego de la determinación correcta del retardo de tiempo, el cabeceo destacado es obtenido al medir el desplazamiento longitudinal de los sonidos a lo largo de la inclinación debido al cabeceo destacado. Para evitar cualquier influencia del retardo de tiempo el sistema debe estar compensado para latencia de posicionamiento.

El cabeceo destacado, $\delta\theta_p$, puede ser obtenido por la ecuación:

$$\delta\theta_p = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta x}{2 \cdot z}\right) \qquad \textbf{(3.56)}$$

Cuando Δx sea el desfase aparente de una sonda en el recorrido de la misma línea de levantamiento en direcciones recíprocas.

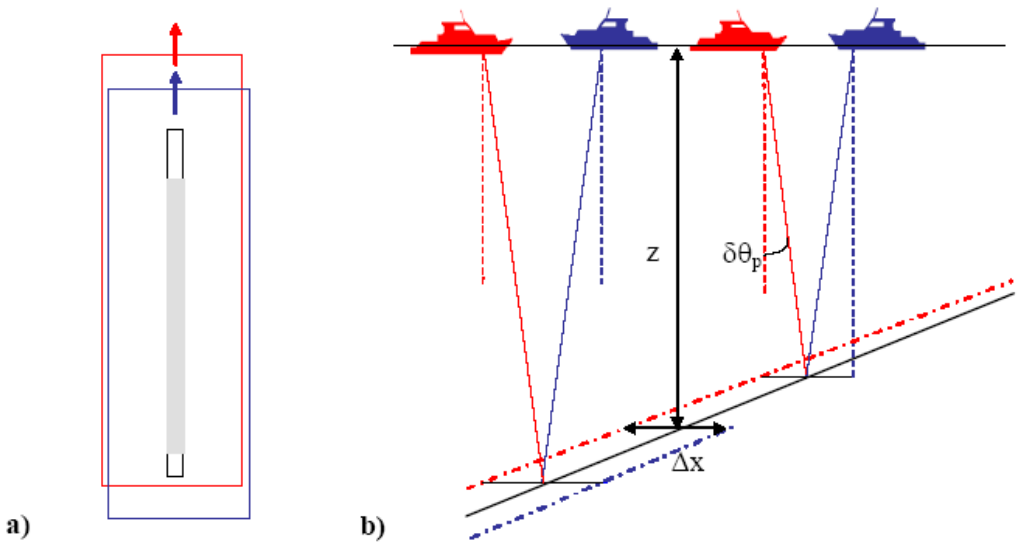


Fig. 3.37 "Calibración del cabeceo destacado.

a) Vista desde arriba de las dos líneas;
b) Sección longitudinal donde la separación de los dos perfiles de sonido del fondo marino actual es visible debido al cabeceo destacado."

c) Desfase Acimutal

El desfase acimutal es el ángulo compuesto destacado desde el sensor del rumbo y desde la alineación perpendicular del transductor al eje longitudinal de la nave. El procedimiento para determinar el acimutal destacado consiste en correr dos pares adyacentes de líneas recíprocas, a la misma velocidad, en un área con un perfil batimétrico bien definido como en un banco. Las líneas adyacentes deben solaparse (no más de 20% del ancho de la banda) en los haces externos en la posición del efecto batimétrico. La figura 3.38 muestra la calibración acimutal destacada.

Luego de la correcta determinación de retardo de tiempo y del cabeceo destacado, el acimutal destacado es obtenido al medir el desplazamiento longitudinal del efecto batimétrico de las líneas adyacentes. Para evitar cualquier influencia del retardo de tiempo y del cabeceo destacado el sistema debe estar compensado para estos destacados.

El acimutal destacado, $\delta\alpha$. puede ser obtenido de la ecuación:

$$\delta\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta x}{\Delta L}\right) \qquad \textbf{(3. 57)}$$

Donde Δx es la separación horizontal desde el efecto batimétrico de las líneas recíprocas adyacentes y ΔL es la distancia entre las líneas.

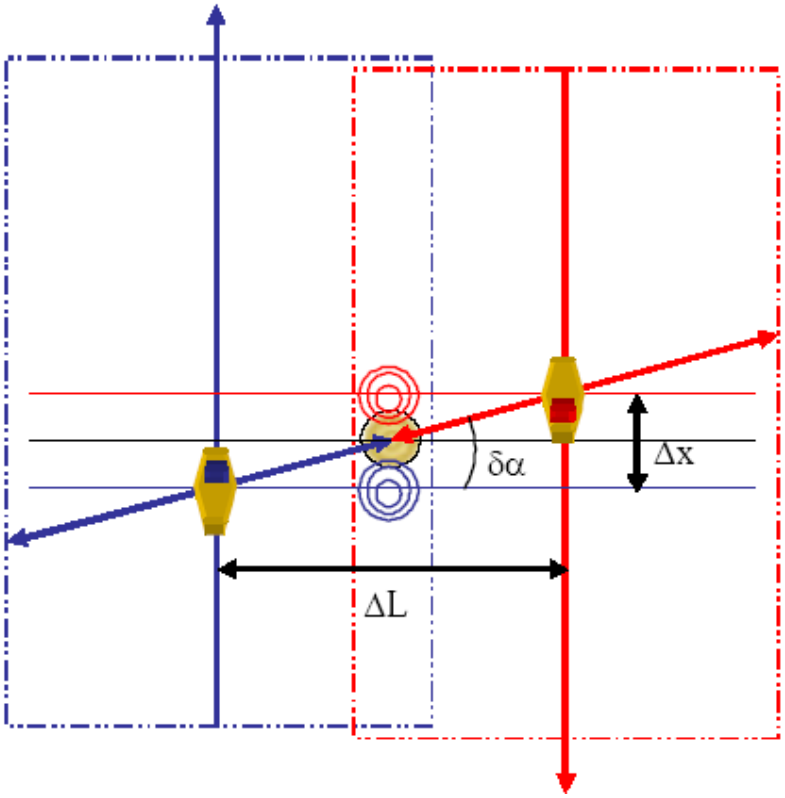


Fig. 3.38 "Calibración acimutal destacado"

d) Desfase por Rolido

El desfase por rolido es el ángulo fuera de línea compuesto de la unidad de medición inercial y de la alineación del transductor con el vertical local en el plano transversal de la nave. El procedimiento para determinar el rolido destacado consiste en correr un par de líneas de levantamiento recíprocas, a la misma velocidad, en un fondo marino plano regular. Las líneas deben solaparse entre ellas. La figura 3.39 muestra la calibración del rolido destacado.

Después de la correcta determinación de retardo de tiempo y del cabeceo y el acimutal destacado, el rolido destacado es obtenido al medir el desplazamiento longitudinal de los haces exteriores desde las líneas recíprocas. Para evitar cualquier influencia del retardo de tiempo y del cabeceo y del acimutal destacado el sistema debe estar compensado para estos destacados.

El rolido destacado, $\delta\theta_R$, puede ser obtenido por la ecuación:

$$\delta\theta_R = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta z}{2\cdot\Delta y}\right) \qquad \textbf{(3. 58)}$$

Donde **Δz** es el desplazamiento vertical entre los haces externos y desde las líneas recíprocas y. **Δy** es la mitad del ancho de la banda o la distancia desde el nadir al punto donde el desplazamiento vertical es medido.

La calibración es hecha usualmente por medio de herramientas interactivas. El ajuste o el cálculo fuera de línea debe ser hecho en varias secciones de muestra para obtener un promedio. Los destacados pueden tener una incertidumbre en el orden de la capacidad de repetición del sensor de movimiento.

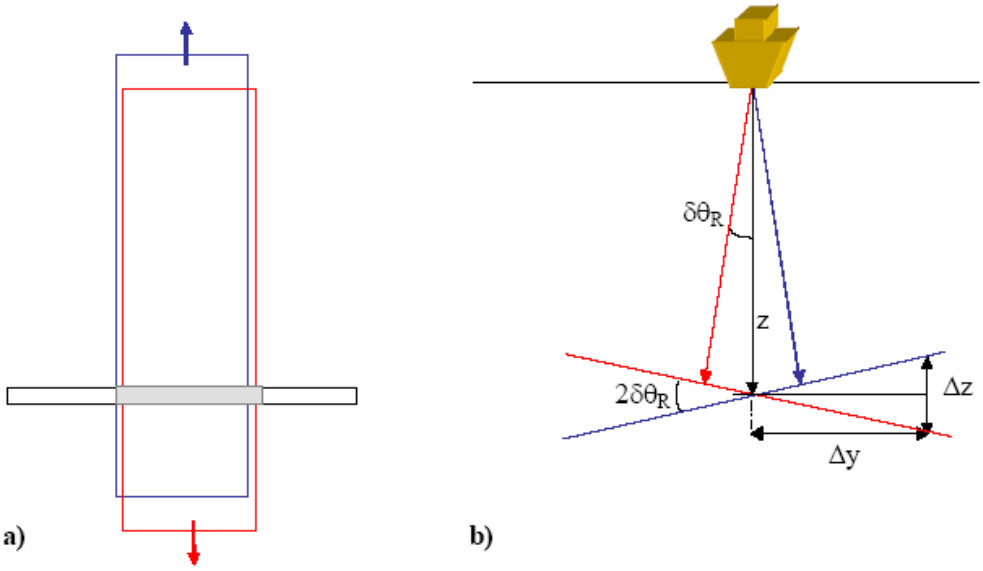


Fig. 3.39 "Calibración del Rolido destacado.

a) Vista desde arriba de las líneas recíprocas;
b) Sección de cruce donde la separación pronunciada de los perfiles de sonido desde el nadir a los haces externos debido al rolido destacado son visibles."

5.2.1.7 Operación y grabado de la datos

La configuración de la nave y los parámetros de calibración deben ser chequeados al comienzo del levantamiento. Algunos parámetros del sistema deben ser también chequeados. Estos son principalmente los parámetros usados durante la recolección de datos y pueden variar con cada ubicación de levantamiento (ej. En la profundidad de operación máxima, la profundidad esperada, la tasa máxima de impulso, etc.)

Al principio del levantamiento un perfil de velocidad de sonido debe ser hecho y transferido al ecosonda que se va a usar, generalmente en tiempo real. La velocidad del sonido en la cara del transductor debe ser comparada con el valor dado por el sensor de prueba de la velocidad de sonido. Durante la sesión de levantamiento se deben hacer varias pruebas de perfil de sonido de acuerdo al preanálisis de la variación temporal y espacial de la velocidad de sonido.

Mientras se esté haciendo el levantamiento, los sistemas son casi completamente automáticos, el hidrógrafo debe, sin embargo, monitorear la recolección de los datos y la integridad de los mismos. El sondeado total del fondo marino y el solapamiento con las bandas adyacentes debe ser garantizado y monitoreado. Es más importante comparar el solapamiento de los haces externos de las bandas adyacentes y descartar cualquier tendencia a curvatura hacia arriba o hacia debajo de cada impulso.

Al final de cada sesión de levantamiento es altamente recomendado que se cree un respaldo de los datos recolectados.

5.2.1.8 Tipos de error y técnicas de control de calidad

Los tipos de error fueron discutidos en 5.1. 4 pero fueron para los SBES. De aquí en adelante los errores son analizados para MBES, algunos errores son comunes para ambos sistemas, es decir, no varían con el ángulo del haz. Por esta razón algunos de los errores están referidos al punto 5.1.4.
Más detalles en cuanto a la incertidumbre del multihaz pueden ser encontrados en Hare (1995) y en Lurton (2002).

5.2.1.8.1 Debido a la velocidad del sonido. Los errores en la velocidad del sonido o en su variación resultan en soluciones de refracción incorrectas y, en consecuencia, a errores en la medición de la profundidad y en el posicionamiento.

El trazado del rayo[46] está basado en la ley de Snell que sostiene la relación entre la dirección del rayo y la velocidad de la onda acústica:

$$\frac{\sin\theta_0}{c_0} = \cdots = \frac{\sin\theta_i}{c_i} = \kappa \qquad \textbf{(3. 59)}$$

Donde $\mathbf{c_i}$ es la velocidad del sonido $\boldsymbol{\theta_i}$ es el ángulo de incidencia referido al vertical en la profundidad $\mathbf{z_i}$, y $\boldsymbol{\kappa}$ es el parámetro del rayo o la constante Snell.

Asumiendo que el perfil de la velocidad del sonido es discreta (Fig. 3.40), es razonable asumir que la gradiente de la velocidad del sonido en una capa, entre dos mediciones, es constante. Por lo tanto la velocidad de sonido se representa como sigue:

$$c_i(z) = c_{i-1} + g_i(z - z_{i-1}), \quad for \quad z_{i-1} \le z \le z_i \qquad \textbf{(3.60)}$$

Donde $\mathbf{g_i}$ es la gradiente constante en la capa **i**, dada por:

$$g_i = \frac{c_i - c_{i-1}}{z_i - z_{i-1}} \qquad \textbf{(3.61)}$$

En cada capa el pulso acústico viaja un camino con un radio de curvatura constante, $\boldsymbol{\rho_i}$, dado por:

$$\rho_i = -\frac{1}{\kappa g_i} \qquad \textbf{(3.62)}$$

[46] El rayo acústico corresponde a la línea dibujada desde la fuente, cada punto es perpendicular al frente de la onda.

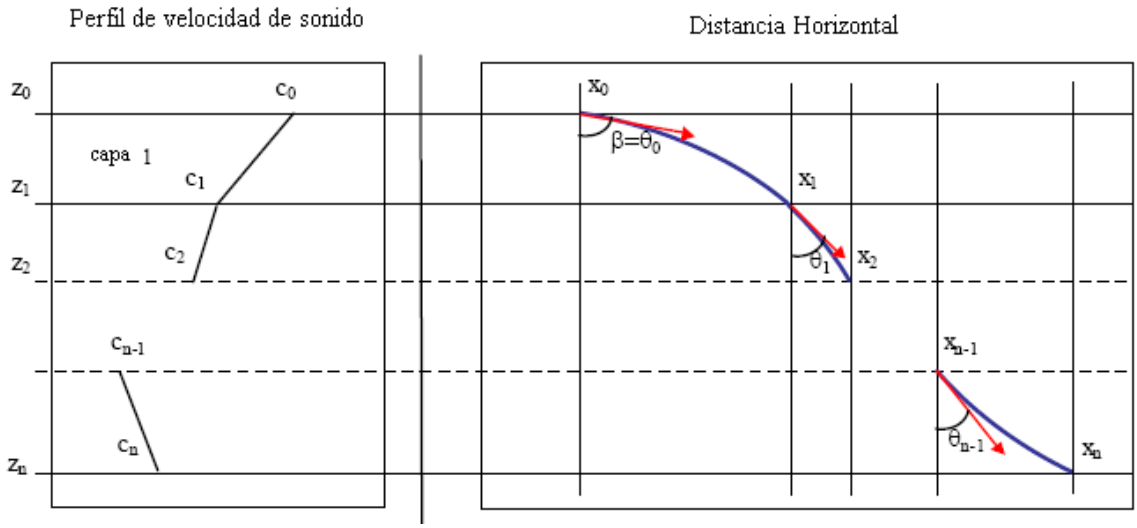


Fig. 3.40 "Trazado de rayo"

Considerando el ángulo de lanzamiento θ_0 (or β) en una profundidad con velocidad de sonido c_0, la distancia horizontal viajada por el pulso acústico para atravesar la capa **i** es:

$$\Delta x_i = \rho_i\left(\cos\theta_i - \cos\theta_{i-1}\right) = \frac{\cos\theta_{i-1} - \cos\theta_i}{\kappa g_i} \qquad \textbf{(3.63)}$$

El reemplazo de $\cos(\theta_i)$ por $\sqrt{1-(\kappa c_i)^2}$ produce:

$$\Delta x_i = \frac{\sqrt{1-(\kappa c_{i-1})^2} - \sqrt{1-(\kappa c_i)^2}}{\kappa g_i} \qquad \textbf{(3.64)}$$

El tiempo de viaje del pulso acústico en la capa ***i,*** es obtenido por:

$$\Delta t_i = \frac{1}{g_i}\int_{c_{i-1}}^{c_i} \frac{dc}{c\cdot\cos(\theta)} \qquad \textbf{(3. 65)}$$

Que puede ser escrito como:

$$\Delta t_i = \frac{1}{g_i}\ln\left(\frac{c_i}{c_{i-1}}\frac{1+\sqrt{1-(\kappa c_{i-1})^2}}{1+\sqrt{1-(\kappa c_i)^2}}\right) \qquad \textbf{(3. 66)}$$

Para obtener la distancia horizontal total viajada por la señal acústica y el tiempo de viaje, es necesario sumar las distancias Δx_i y los tiempos Δt_i desde el transductor al fondo marino,

$$x = \sum_{i=1}^{n} \frac{\left[1-(\kappa c_{i-1})^2\right]^{1/2} - \left[1-(\kappa c_i)^2\right]^{1/2}}{\kappa g_i} \qquad \textbf{(3.67)}$$

$$t = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{g_i} \ln\left(\frac{c_i}{c_{i-1}} \frac{1+\sqrt{1-(\kappa c_{i-1})^2}}{1+\sqrt{1-(\kappa c_i)^2}} \right) \qquad \textbf{(3.68)}$$

La determinación de la profundidad y del posicionamiento de sonido es el resultado de la integración del eco a lo largo de cada dirección. Fijado por el ángulo de punta del haz, usando el perfil de la velocidad de sonido actualizado entre la transmisión y el tiempo de viaje de una dirección **(Δt/2**).

Tomado un perfil de velocidad de sonido con una gradiente constante, **g,** la profundidad es obtenida como:

$$z = \int_0^{\Delta t/2} (c_0 + g \cdot z) \cdot \cos(\theta) dt \qquad \textbf{(3.69)}$$

El error de profundidad, $\mathbf{dz_c}$, dada la variación del gradiente, **dg,** y la variación de la velocidad de sonido en la superficie, $\mathbf{dc_0}$, por diferenciación de la ecuación 3.69 puede ser aproximada por:

$$dz_c = \frac{z^2}{2c_0}\left(1-\tan^2(\beta)\right)dg + \frac{z}{c_0} dc_0 \qquad \textbf{(3.70)}$$

Donde β y $\mathbf{c_0}$ son, respectivamente, el ángulo puntero del haz y la velocidad de sonido desde el perfil de velocidad de sonido en la cara del transductor. En la ecuación 3.70 el primer término corresponde al error de rango y al error de doblez debido a la variación del perfil de la gradiente, mientras que el segundo término corresponde al error de profundidad debido al perfil fuera de línea de la velocidad de sonido en la profundidad del transductor. Asumiendo que no hay correlación de estos errores, la variancia de profundidad dada por los errores de la velocidad de sonido es escrita como:

$$\sigma^2_{z\,c\_profile} = \left(\frac{z^2}{2c_0}\right)^2 \left(1-\tan^2(\beta)\right)^2 \sigma_g^2 + \left(\frac{z}{c_0}\right)^2 \sigma^2_{c_0} \qquad \textbf{(3.71)}$$

Donde $\boldsymbol{\sigma_g^2}$ corresponde a la variancia de la gradiente del perfil de la velocidad de sonido y $\boldsymbol{\sigma c_0}$ corresponde a la variancia del valor inicial del perfil de velocidad de sonido usado para el cálculo de la profundidad.

Los errores de la velocidad de sonido son, en la práctica, difíciles de cuantificar y los problemas con las vibraciones temporales y espaciales pueden algunas veces ser tan importantes que la única solución práctica es limitar la cobertura angular del multihaz.

Existe otro componente de error debido al error de la velocidad de sonido o a la variación en la cara del transductor; este componente introduce un error en el ángulo puntero del haz que también introduce errores en la medición y posicionamiento de la profundidad.

Para la dirección del haz o la estabilización, es necesario introducir retardos de tiempo en los elementos del transductor (4.2). Para calcular los retrasos es necesario conocer la

velocidad de sonido en el calado del transductor, esto es normalmente logrado con un sensor de velocidad de sonido instalado cerca del transductor. Cualquier error en la velocidad del sonido en la cara del transductor será propagado como un error en el ángulo puntero del haz (Fig, 3.41).

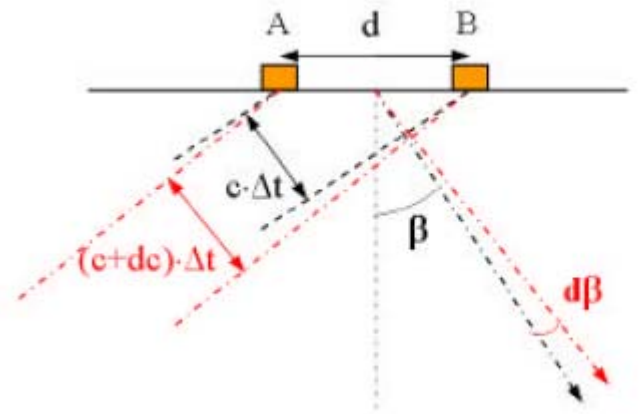


Fig. 3.41 "El error de la dirección del haz a causa de a la variación de la velocidad del sonido"

El retardo de tiempo para direccional el ángulo del haz **β,** es obtenido por:

$$\Delta t = \frac{d}{c_0}\sin(\beta) \tag{3.72}$$

Por lo que:

$$\beta = \operatorname{asin}\left(\frac{c_0 \cdot \Delta t}{d}\right) \tag{3.73}$$

Por la diferenciación y la apropiada simplificación nos da:

$$d\beta = \frac{\tan(\beta)}{c_0} dc_0 \tag{3.74}$$

El error de la dirección del haz se propaga a un error en la profundidad, dada por:

$$dz_\beta = -\frac{z}{c_0} \cdot \tan^2(\beta) dc_0 \tag{3.75}$$

La variancia de la profundidad dada por la dirección del haz es entonces:

$$\sigma_{z\beta}^2 = \left(\frac{z}{c_0}\right)^2 \tan^4(\beta)\sigma c_0^2 \tag{3.76}$$

Donde σc_0 corresponde a la variancia de la velocidad del sonido usado para la dirección del haz, usualmente obtenido por el sensor de la velocidad del sonido.

Note que el total estimado de la variancia de profundidad debido a los errores de la velocidad del sonido está escrito como:

$$\sigma_{zc}^{2} = \sigma_{zc\_profile}^{2} + \sigma_{z\beta}^{2} \quad \textbf{(3.77)}$$

Los errores mencionados anteriormente pueden ser detectados por la inspección visual de la datos al tratar de detectar la curvatura anormal de los perfiles (grupo de haces).

5.2.1.8.2 Debido al sensor de movimiento la medición de profundidad es dependiente del error de cabeceo y del error de rolido, la contribución dada es como sigue:

$$dz_{\theta_R} = R \cdot \cos(\theta_P) \cdot \sin(\beta - \theta_R) d\theta_R \quad \textbf{(3.78)}$$

y:

$$dz_{\theta_P} = R \cdot \sin(\theta_P) \cdot \cos(\beta - \theta_R) d\theta_P \quad \textbf{(3.79)}$$

Las variancias de profundidad son respectivamente:

$$\sigma_{z\theta_R}^{2} = (z \cdot \cos(\theta_P) \cdot \tan(\beta - \theta_R))^2 \sigma_{\theta R}^{2} \quad \textbf{(3.80)}$$

y:

$$\sigma_{z\theta_P}^{2} = (z \cdot \sin(\theta_P))^2 \sigma_{\theta P}^{2} \quad \textbf{(3. 81)}$$

La variancia total de profundidad dada por el comportamiento de la nave y el balanceo es:

$$\sigma_{z\,motion}^{2} = \sigma_{z\theta_R}^{2} + \sigma_{z\theta_P}^{2} + \sigma_{h}^{2} \quad \textbf{(3.82)}$$

Donde σ_h^2 es la variancia del balanceo.

5.2.1.8.3 Debido al calado, asiento, asentamiento y posición relativa del transductor. La correcta medida del calado del transductor y el conocimiento del comportamiento de la nave en condiciones dinámicas, asiento y asentamiento, son fundamentales para la exactitud de las profundidades medidas. Estos errores contribuirán al error de profundidad independiente del ángulo del haz.

La variancia total de profundidad debida a la inmersión del transductor, ver 5.1.4.5, está escrita como:

$$\sigma_i^2 = \sigma_{draught}^2 + \sigma_{settlement}^2 + \sigma_{squat}^2 \quad \textbf{(3.83)}$$

Donde $\sigma_{draught}^2$ es la variancia del calado, $\sigma_{settlement}^2$ es la variancia del asiento, y σ_{squat}^2 es la variancia del asentamiento.

5.2.1.8.4 La reducción de la profundidad. Esto ya fue discutido anteriormente en el punto 5.1.4.8.

La QC puede ser hecha por cálculos estadísticos basados en las comparaciones de los sonidos desde las líneas chequeadas con la superficie batimétrica generada desde las principales líneas de levantamiento. Las estadísticas generadas por la comparación deben cumplir con las recomendaciones de exactitud del S-44.

De acuerdo a los errores presentados anteriormente, la variancia de profundidad reducida estimada está escrita como sigue:

$$\sigma_z^2 = \sigma_{zc}^{\ 2} + \sigma_{h\,motion}^2 + \sigma_i^2 + \sigma_{tide}^2 + \sigma_{z\,detection}^2 \qquad \textbf{(3.84)}$$

Donde "$\sigma^2_{z\ detección}$" corresponde a la variancia de profundidad debido al algoritmo de detección del fondo marino implementado en el sistema MBES (Lurton, 2002).

El error estimado en la profundidad reducida, en el 68% (o 1σ) de nivel de confianza, es obtenido por la ecuación de raíz cuadrada 3.84. Asumiendo que el componente de errores sigue aproximadamente una distribución normal, el error estimado de la profundidad reducida, en el 95% (o 2σ) de nivel de confianza, es obtenido al sustituir cada variancia σ^2 by $(2\sigma)^2$.

5.2.2 Sonares interferométricos

5.2.2.1 Los sistemas de sonares interferométricos aplican la fase de contenido de la señal del sonar para medir el ángulo del frente de la onda desde el fondo marino o desde un objetivo. Este principio difiere del MBES que forma un grupo de haces receptores y desempeña la detección del fondo marino para cada haz, con amplitud o con la fase. Para detectar la señal de retorno a través de la banda (Hughes Clarke, 2000).

Estos sonares tienen dos o más alineaciones horizontales, cada alineación produce un haz que es angosto a lo largo y ancho al través. Una de estas alineaciones es usada para la transmisión, el sondeo de un sector del fondo marino, dispersando energía acústica en todas las direcciones. Parte de la energía dispersa regresará hacia el transductor, que mide el ángulo hecho con los transductores. El rango es también calculado desde el tiempo observado en las dos direcciones.

El método usado para la medición del ángulo puede ser diverso. El método más simple es el de agregar a la señal copiada desde las dos alineaciones juntas, siendo la amplitud resultante "franjas", correspondiente a las variaciones en la fuerza de la señal. Si las alineaciones del transductor son separadas por la mitad de la longitud de una onda, habrá sólo una franja, siendo la dirección de la fase cero perpendicular al eje de alineación del transductor y la dirección puede ser determinada sin ambigüedad. Si las alineaciones del transductor están separadas por varias longitudes de onda, el ángulo de la onda detectada puede ser derivada de las direcciones donde la máxima (o la mínima) de las señales recibidas ocurren (fig. 3.42). Sin embargo, este método, cuando es usado por separado, produce sólo unas pocas mediciones. Al usar la gradiente de las franjas para producir más mediciones extiende este método.

5.2.2.2 Sonares de expectativa los sonares de apertura horizontal son usados para detectar obstrucciones futuras de la nave al realizar barridos mecánicos o electrónicos en el plano horizontal. Estos sistemas son apropiados especialmente para la detección de obstrucciones en áreas sin estudio o con malos estudios.

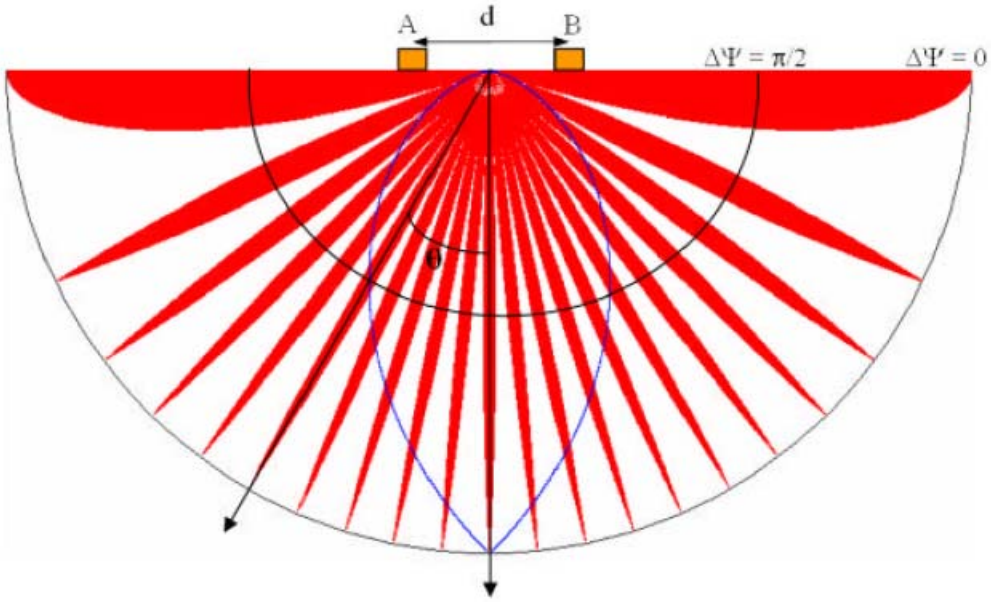


Fig. 3.42 "El patrón resultante de la interferencia, constructiva o destructiva, de señales recibidas en dos alineaciones, separadas por una distancia (d) 10 veces la longitud de la onda acústica (roja) y media longitud de onda (azul)"

6. SISTEMAS NO ACÚSTICOS

Adicionalmente a los sistemas acústicos, presentados en secciones anteriores, hay algunos sistemas electromagnéticos que pueden ser usados para la determinación de la profundidad, como el láser aerotransportado y los sistemas de inducción electromagnética, así como la determinación de la profundidad derivada de la altimetría del satélite. Estos sistemas y los métodos mecánicos tradicionales para la medición de la profundidad y para el barrido están descritos a continuación.

6.1 Sistemas Láser Aerotransportados

Los sistemas láser[47] ofrecen una alternativa y un complemento a los levantamientos con los sistemas acústicos en aguas poco profundas (Guenther et al., 1996).

Un sistema láser está compuesto por un sistema de barrido láser, un sistema de posicionamiento global (GPS) y una unidad interna de medición (IMU).

6.1.1 Principios de operación

El sondeo láser aerotransportado hidrográfico, LIDAR (LIght Detection And Ranking), es un sistema para medir la profundidad del agua. El sistema emite pulsos láser, en dos frecuencias (azul-verde e infrarroja), en un patrón de arco a través del rumbo de vuelo de la plataforma aerotransportada; graba las señales de llegada del pulso de luz reflejadas por la superficie del mar y por el fondo del mar (figura 3.43) la diferencia del tiempo medido, entre los dos retornos, es convertida en distancia.

[47] Láser es el acrónimo de Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. El láser básicamente consiste de un diodo que emite una fuente de luz en una frecuencia específica.

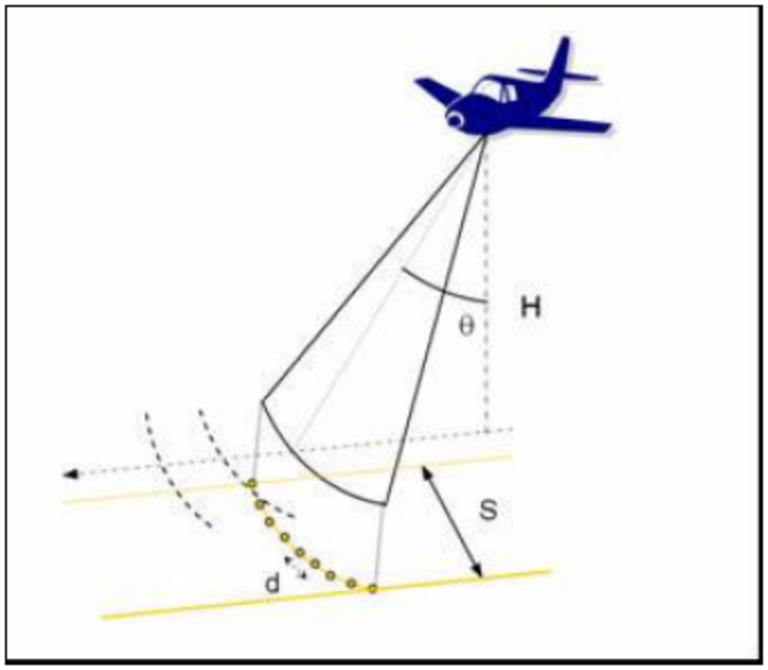


Fig. 3.43 "Geometría de las mediciones Lidar"

La propagación de la luz a través del agua de mar, como la propagación de la energía acústica, depende de la temperatura, presión y la salinidad. El agua de mar es, hasta cierto punto, transparente a la luz. En condiciones ideales, ningún material en suspensión, la atenuación es una función de la absorción y del esparcido.

La transparencia del agua de mar en las regiones infrarrojas y ópticas del espectro electromagnético es una función de cantidad del material suspendido en el agua. Por lo tanto, la transparencia del agua[48] es una limitante al uso de sistemas de sondeo láser. La operación Lidar de máxima profundidad es de 2 a 3 veces la profundidad del disco Secchi[49] observado.

Un pulso de luz de dos frecuencias diferentes es transmitido en la dirección del mar; parte de la energía del haz infrarrojo es reflejada en la superficie del mar hacia atrás de la nave, el haz láser azul-verde es transmitido al agua y parcialmente reflejado en el fondo marino, también para ser detectado por el receptor. Usando el tiempo exacto, la distancia del fondo marino puede ser medida conociendo la velocidad de la luz en el agua. El cálculo de la profundidad requiere, adicionalmente, el conocimiento de la geometría de mediciones de acuerdo a la ley de Snell (figura 3.44).

$$\frac{sin\theta_a}{c_a} = \frac{sin\theta_w}{c_w} \qquad \textbf{(3. 85)}$$

Donde $\boldsymbol{\theta_a}$ y $\boldsymbol{\theta_w}$ son los ángulos de incidencia en el aire y en el agua y $\mathbf{c_a}$ y $\mathbf{c_w}$ las correspondientes velocidades de luz en el aire y en el agua.

[48] La transparencia del agua de mar, es decir, la transmisión de la luz visible a través del agua, puede ser medida cuantitativamente por la profundidad determinante del disco de Secchi.

[49] El disco Secchi es un aparato sencillo para medir la transparencia del agua. El disco es un plato blanco de aproximadamente30 cm de diámetro, asegurado horizontalmente del extremo de una cuerda marcada en metros. El disco es bajado en el agua del mar y la profundidad en la que se pierde de vista es anotada.

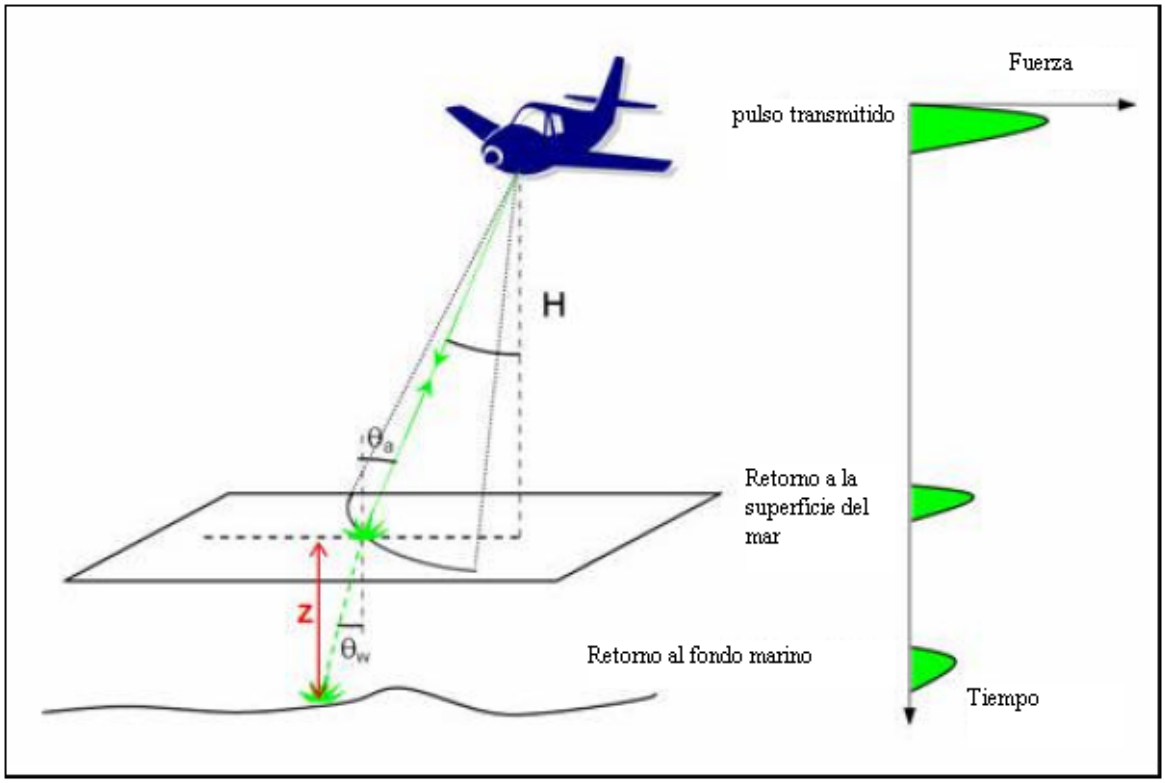


Fig. 3.44 "Principio de funcionamiento Lidar"

6.1.2 Capacidades y limitaciones

Los sistemas láser son eficientes en aguas poco profundas debido a su productividad excelente (Axelsson y Alfredsson, 1999). Esta productividad resulta de la alta velocidad del levantamiento y al ancho de la banda, que es independiente a la profundidad del agua. En contraste, los sistemas de multihaz son operados a una velocidad de levantamiento baja y el ancho de la banda es proporcional a la profundidad del agua (usualmente 2-7 veces la profundidad del agua).

Los sistemas láser dan una buena cobertura, cerca de la cobertura total, en condiciones extremas de salinidad y de temperatura, donde los sistemas acústicos pueden producir datos de baja calidad.

Sin duda, la seguridad es la principal ventaja de la operación del sistema láser, particularmente donde los riesgos bajo el agua pueden ser de gran tamaño para la navegación en la superficie.

A pesar de las capacidades mencionadas anteriormente, los sistemas láser son muy sensitivos al material suspendido y a la turbidez de la columna de agua. Las profundidades de operación máximas, en condiciones de operación óptimas, es decir en aguas muy claras, es de cerca de 50-70 metros.

6.2 Sistemas Electromagnéticos Aerotransportados

Los sistemas de inducción electromagnéticos aerotransportados han sido usados por más de 40 años para detectar depósitos minerales metálicos de alta conductividad. Los avances en esta tecnología han permitido el uso de los principios de la inducción electromagnética para el gráfico de las formaciones del fondo marino en aguas poco profundas. Información detallada en sistemas de inducción electromagnéticas aerotransportados es referida en Zollinger et al. (1987) y en Smith y Keating (1996).

6.2.1 Principios de operación

El principio de operación de estos sistemas está basado en la técnica de levantamiento geofísico para medir la conductividad eléctrica del fondo de rocas o el grosor de una capa conductiva.

Un transmisor dipolo magnético, colocado en un helicóptero o asegurado en el ala de un avión, produce un campo magnético, el campo primario, y un receptor remolcado es usado para detectar el segundo campo magnético inducido en el suelo.

Las capas horizontales asumidas, el procesado de la señal en tiempo o la frecuencia dominio pueden ser usados para determinar la conductividad, **w**, y el grosor de la columna de agua marina, es decir la profundidad de agua y la conductividad **s**, del fondo marino (figura 3.45).

6.2.2 Capacidades y limitaciones

Este sistema no acústico, debido a las bajas frecuencias envueltas, tiene la capacidad de operar en el hielo grueso. Sin embargo, este sistema está limitado para las profundidades de agua de menos de 100 metros y es, en el presente, para propósitos de reconocimiento solamente.

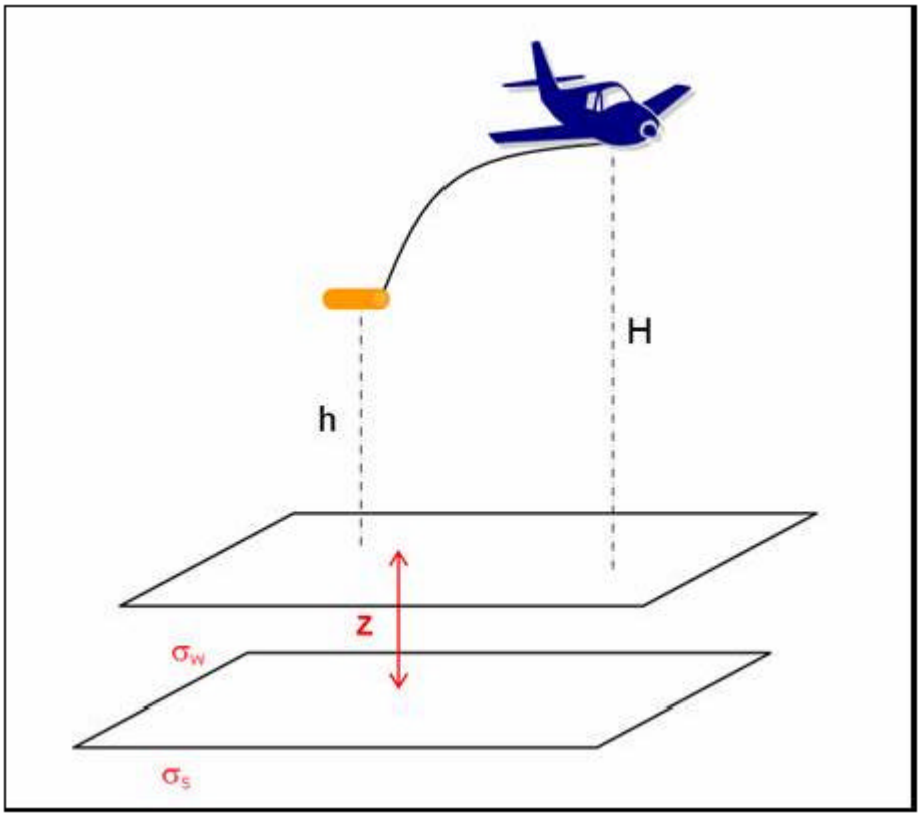


Fig. 3.45 "Principio de trabajo electromagnético aerotransportado"

6.3 Teledetección

Esta sección representa la estimación de la profundidad derivada de la fotografía aérea y de la altimetría satelital, como método adicional para la cobertura de áreas extensas.

6.3.1 Fotobatimetría

Es una práctica común de la fotografía aérea para ser usada para delinear la línea de costa, y algunas veces, es muy útil para el reconocimiento, y planificación del levantamiento hidrográfico, la ubicación de bancos y la creación de una descripción cualitativa del fondo marino en vez un instrumento para determinar la profundidad de agua.

6.3.1.1. Principios de operación

Los procesadores de imagen digital tienen la habilidad de correlacionar la intensidad de la luz con la profundidad. Sin embargo, la variación en la intensidad de la luz es también dependiente del material en suspensión y de las propiedades de reflejo del fondo marino. Entonces una calibración local debe ser retomada para contar a estas variaciones.

6.3.1.2 Capacidades y limitaciones

La aplicación de la fotobatimetría, dentro de los límites presentes de esta tecnología, lleva principalmente la de una herramienta de reconocimiento y de planeación en áreas donde no hay suficiente o ninguna información de profundidad.

6.3.2 Otros

Las imágenes de satélite en la banda visible pueden ser usadas en una manera similar a la foto batimetría. Sin embargo, los satélites pueden ser equipados con altímetros de alta resolución para graficar la superficie de los océanos y, con el apropiado procesado de datos, es posible estimar las profundidades de todo el globo.

La superficie del océano tiene una forma irregular que imita, hasta cierto punto, la topografía del fondo del mar. Las características del fondo marino, como los montes submarinos, contribuyen a la modificación local del campo de gravedad de la tierra, induciendo una deflexión del vertical, que causa una inclinación en la superficie del mar y consecuentemente la superficie del agua de mar sube para generar una protuberancia en la superficie del mar. La superficie del océano puede ser graficada con un altímetro de satélite exacto y la anomalía, es decir la diferencia entre la superficie del océano observada y la superficie teórica, como la creada por un elipsoide WGS84, puede ser determinada y la profundidad de agua estimada (Figura 3.46).

La integración de la altimetría satelital con las medidas batimétricas pueden producir datos más confiables que contribuyan al conocimiento de la topografía del fondo marino en áreas donde los levantamientos hidrográficos están esparcidos (Smith y Sandwell, 1997).

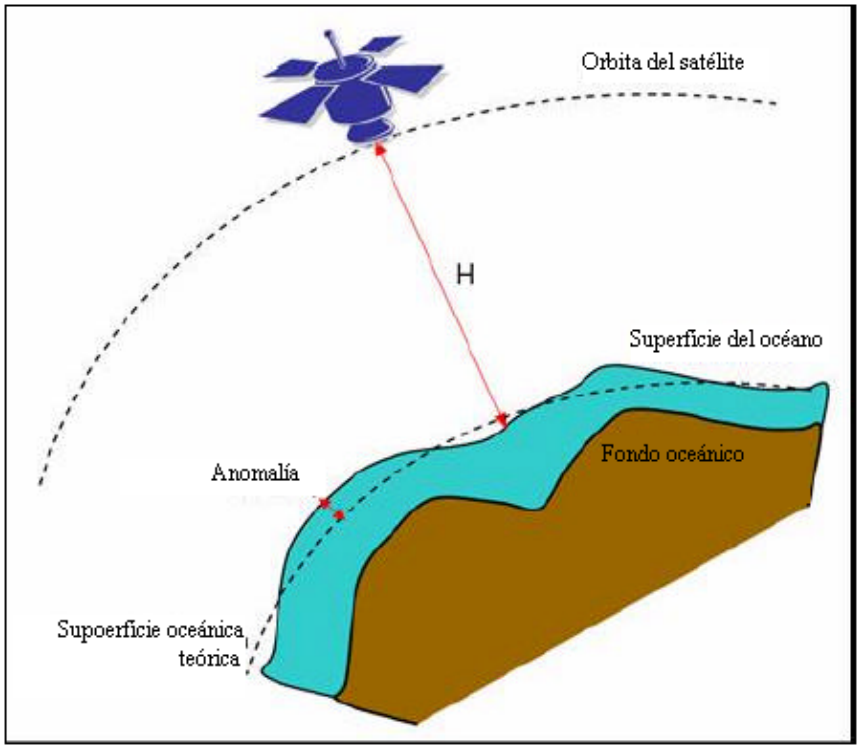


Fig. 3.46 "Batimetría derivada del satélite"

6.4 Sistemas Mecánicos

Los sistemas mecánicos son las herramientas primarias usadas para la medición de profundidad. Sin embargo, estos sistemas permanecen en vigentes y en uso hoy en día.

Los sistemas estudiados hasta ahora realizan, ediciones indirectas y son sensitivos a las características del agua de mar. En condiciones típicas, los errores graves en las mediciones de profundidad son propensos a suceder, estos son generados por los ecos desde dentro de la columna de agua y por lo tanto no están relacionados a la columna de agua, por ejemplo pueden haber sido causados por: algas, bancos de peces, una capa dispersa profunda, plumajes termales y sedimentos en suspensión. Adicionalmente los errores pueden ocurrir cerca del muelle, donde la detección del eco ocurre desde los retornos de los lóbulos laterales desde el muelle mismo.

Los métodos mecánicos (línea guía o vara de sondeo) no son sensitivos a estas condiciones ambientales particulares y pueden dar un método alternativo.

Los métodos de barra o de barrido son una manera inequívoca de detectar profundidades mínimas sobre las ruinas o sobre las obstrucciones y de garantizar las profundidades mínimas a través del canal de navegación.

6.4.1 Línea principal y vara de sondeo

La línea principal ayuda al higrógrafo en resolver la mal interpretación del ecosonda causada por los retornos falsos.

Cuando el fondo es visible, una línea principal o una vara de sondeo pueden consistentemente ser ubicados en los puntos altos y en la profundidad medida. En otras áreas, la detección y la medición pude ser más difícil y los métodos de barrido pueden ser preferidos.

6.4.1.1 Descripción

Una línea principal es una línea graduada con marcas adjuntas y aseguradas al escandallo. La línea es usada para determinar la profundidad del agua cuando se sondea manualmente, generalmente, en profundidades de menos de 50 metros.

Una corrección, para compensar el encogimiento y el estiramiento de la línea, puede ser aplicada a las profundidades obtenidas; este tipo de error, sin embargo, ha sido superado al insertar un alambre dentro de la cuerda.

Una vara de sondeo es una vara graduada con marcas que es también usada para determinar la profundidad del agua cuando el sondeo es manual, generalmente es usado en profundidades de menos de 4 metros.

Como se mencionó anteriormente, hoy día estas herramientas son casi siempre usadas para chequear sondeos anómalos recolectados con los sistemas acústicos que suceden en aguas poco profundas.

6.4.1.2 Tipos de erro

Los tipos de error de medición de profundidad con la línea principal son debidos a:

a) La curvatura de la línea es inducida por la corriente y produce un error de profundidad. La corrección puede ser problemática y por esta razón, es recomendado solamente retomar las mediciones cuando el impacto de la corriente sea sin importancia, solamente dejando el efecto de la velocidad residual de la nave.

b) El balanceo contribuirá al error en la medición de la profundidad. El balanceo lleva a la dificultad en la lectura de la profundidad; esto se sobrelleva al tomar un promedio de la lectura entre las crestas de las ondas y de las depresiones.

6.4.1.3. La operación, el grabado de la datos y el procesado

La medición directa de la profundidad debe ser hecha con la nave muerta en el agua y, si es posible, para evitar períodos de corrientes fuertes y de corriente de marea. Es normal, entre las posiciones de sonido sucesivas, mantener la línea principal en el agua para descartar cualquier efecto prominente del fondo marino.

6.4.2 Barrido de barra

La cobertura batimétrica con el SBES sólo mide la profundidad a lo largo de las líneas de levantamiento, dejando el fondo marino entre las líneas sin cobertura o información detallada, aunque el sonar de barrido lateral es casi siempre usado para buscar y localizar cualquier efecto prominente del fondo marino entre las líneas SBES. Para los pináculos o restos de rocas, SBES no puede detectar la profundidad mínima cuando el eco es posiblemente muy débil para ser detectado por el receptor, este es particularmente el caso de los mástiles y de las piezas de metal afilados.

Para los propósitos de seguridad de navegación, el uso de un barrido mecánico exacto, con una barra de barrido o con una guaya de barrido, es un medio adecuado de garantizar un mínimo de seguridad de profundidad límite en un área y de acuerdo al S-44, puede ser considerado suficiente para los levantamientos de Orden especial o de Orden 1.

6.4.2.1 Descripción

El barrido está hecho de una barra de 5 a 6 metros de longitud. Cada extremo de la barra puede tener un plomo u otro material pesado, para dar mayor peso y reducir la elevación cuando está sumergido. La barra es suspendida debajo de la nave por líneas graduadas.

Este instrumento es muy fácil de fabricar. El ensayo y error puede ser usado para obtener la mejor solución.

Esto es casi siempre más efectivo y más fácil de manejar que con un barrido de guaya.

6.4.2.2. Metodología de operación

La barra o cuerda debe ser suspendida horizontalmente debajo de la nave. El barrido puede ser equipado con las basculadoras u otros sensores para grabar el contacto con el fondo marino.

La profundidad de la barra debe ser referida al datum vertical, la altura de la marea debe ser grabada durante la operación de barrido y las profundices reducidas apropiadamente.

Una completa cobertura del área de navegación en el límite seguro de profundidad puede ser hecha; en el caso de que se detecte una obstrucción, la cobertura total alrededor de la obstrucción es recomendada para confirmar que la profundidad mínima es detectada.

6.4.3 Barrido de cable

Como una alternativa del barrido de barra, el barrido de cable puede ser usado para determinar la menor profundidad sobre el factor batimétrico cuando, desde la naturaleza general del terreno visible, se sospecha la existencia de un pináculo de roca y una obstrucción.

Información detallada de barrido de cable puede ser encontrada en el NOAA (1976).

6.4.3.1 Descripción

El barrido es construido de dos pequeñas tablas de red o puertas (idénticas a aquellas usadas por los pesqueros de arrastre). Las tablas de red son conectadas de 40 a 60 metros de la cadena de unión oval. El barrido es frenado y remolcado para que la cadena de conexión sea dragada a lo largo del fondo marino aproximadamente a 60 metros a popa de la nave remolcadora NOAA (1976).

REFERENCIAS

Artilheiro, F. (1996)	*"Analysis and Procedures of Multibeam Data Cleaning for Bathymetric Charting"*	Master's Report, Department of Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick, Fredericton New Brunswick, Canada.
Axelsson, R. and M. Alfredsson (1999)	*"Capacity and Capability for Hydrographic Missions"*	US Hydrographic Conference 1999.
Clay, C. e H. Medwin (1977)	*"Acoustical Oceanography"*	Wiley and Sons, Toronto.
de Moustier, C. (1988)	*"State of the Art in Swath Bathymetry Survey Systems"*	International Hydrographic Review, LXV(2), p. 25.
de Moustier, C. (1993).	*"Signal Processing for Swath Bathymetry and Concurrent Seafloor Acoustic Imaging"*	Acoustic Signal Processing for Ocean Exploration, J.M.F. Moura and I.M.G. Lourtie Eds., pp. 329-354.
Godin, A. (1996).	*"The Calibration of Shallow Water Multibeam Echo-Sounding Systems"*	Proceedings of the Canadian Hydrographic Conference '96, Halifax, NS, Canada, pp. 25-31.
Guenther, G., R. Thomas, and P. LaRocque (1996).	*"Design Considerations for Achieving High Accuracy with the SHOALS Bathymetric Lidar System"*	SPIE: Laser Remote Sensing of Natural Waters: From Theory to Practice. 15, pp. 54-71.
Hare, R. (1995).	*"Depth and Position Error Budgets for Multibeam Echosounding"*	International Hydrographic Review (LXXII), Monaco, pp 37-69.
Hughes Clarke, J. (2000).	*"Present-day Methods of Depth Measurement"*	In: P. Cook and C. Carlton (eds) Continental Shelf Limits - The Scientific and Legal Interface. Oxford University Press, New York.
IHO (1994).	*"Hydrographic Dictionary. Special publication No. 32, 5th edition"*	International Hydrographic Organization, Monaco.
IHO (1998).	*"IHO Standards for Hydrographic Surveys. Special publication No. 44, 4th edition"*	International Hydrographic Organization, Monaco.

Kinsler, L., A. Frey, A. Coppens, and J. Sanders (1982).	*"Fundamentals of Acoustics".*	Wiley and Sons, Toronto.
Lurton, X. (2002).	*"Acoustical Measurement Accuracy Modelling for Bathymetric Sonars"*	Canadian Hydrographic Conference 2002.
NOAA (1976).	*"Hydrographic Manual. 4th edition"*	National Oceanic and Atmospheric Administration. US Department of Commerce.
Pϕhner, F. (1993).	*"Model for Calculation of Uncertainty in Multibeam Depth Soundings"*	Report from Simrad Subsea AS, Horten, Norway, FEMME 93, 16 p.
Pickard, G. and W. Emery (1990).	*"Descriptive Physical Oceanography – An Introduction, 5th edition"*	Pergamon Press, Oxford.
Seippel, R. (1983).	*"Transducers, Sensors and Detectors"*	Prentice-Hall.
Smith, R. and P. Keating (1996).	*"The usefulness of multicomponent, time-domain airborne electromagnetic measurements"*	Geophysics, Vol. 61, No. 1, pp. 74–81.
Smith, W. and D. Sandwell (1997).	*"Global Seafloor Topography from Satellite Altimetry and Ship Depth Sounding"*	Science 277. pp. 1956-1962.
OMG (1996).	*"Multibeam Sonar Surveying Training Course. Ocean Mapping Group"*	University of New Brunswick.
Urick, R. (1975).	*Principles of Underwater Acoustics.*	McGraw-Hill, Toronto.
Zollinger, R., H. Morrinson, P. Lazenby, and A. Becker (1987).	*"Airborne Electromagnetic Bathymetry"*	Geophysics, Vol. 52 no. 8, pp. 1172-1137.

BIBLIOGRAFÍA

Andersen, O. and P. Knudsen (1998).	*"Global Gravity Field from ERS1 and GEOSAT Geodetic Mission Altimetry"*	Journal Geophysics Research 103(C4), pp. 8129-8137.
Arabelos, D. (1997).	*"On the Possibility to Estimate the Bottom Topography from Marine Gravity and Satellite Altimetry Data Using Collocation"*	In: R. Forsberg, M. Feissel, R. Dietrich (eds) Geodesy on the Move Gravity, Geoid, Geodynamics, and Antarctica IAG Symposia 119, Springer – Verlag Berlin Heidelberg, pp. 105-112.
Burtch, R. (2002).	*"Lidar Principles and Applications"*	IMAGIN Conference 2002, Traverse City.
Calmant, S. and N. Baudry (1996).	*"Modelling Bathymetry by Inverting Satellite Altimetry Data: A Review"*	Marine Geophysics Research 18, pp. 23-134.
Collet, C., J. Provost, P. Rostaing, P. Pérez, and P. Bouthemy (2000).	*"SPOT Satellite Data Analysis for Bathymetric Mapping"*	IEEE, pp. 964-967.
Denbigh, P. (1989).	*"Swath bathymetry: Principles of operation and an analysis of errors"*	IEEE Journal of Oceanic Engineering 14, pp. 289–298.
Dixon, T., M. Naraghi, M. McNutt, and S. Smith (1983).	*"Bathymetric Prediction from SEASAT Altimeter Data"*	Journal Geophysics Research 88, pp. 1563-1571.
Durey, L., G. Terrie, R. Arnone, and A. Martinez (1997).	*"Bottom Reflectance Maps from Hyperspectral Sensors: An Application to AAHIS Data"*	In Proceedings, ERIM Fourth International Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments, Orlando, pp. 17-19.
Geng, X. and A. Zielinski (1999).	*"Precise Multibeam Acoustic Bathymetry"*	Marine Geodesy, 22, pp. 157-167.
Guenther, G. (1985).	*"Airborne Laser Hydrography: System Design and Performance Factors"*	NOAA Professional Paper Series, National Ocean Service.
Guenther, G., A. Cunningham, P. LaRocque, and D. Reid (2000).	*"Meeting the Accuracy Challenge in Airborne Lidar Bathymetry"*	*Proceedings of EARSeL Symposium 2000*. Dresden, Germany.

Guenther, G., M. Brooks, and P. LaRocque (1998).	*"New Capabilities of the SHOALS Airborne Lidar Bathymeter"*	Proceedings 5th International Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments, ERIM International, October 5-7, San Diego, CA, Vol. I, 47-55.
Guenther, G., P. LaRocque, and W. Lillycrop (1994).	*"Multiple Surface Channels in SHOALS Airborne Lidar"*	SPIE: Ocean Optics XII, Vol. 2258, pp. 422-430.
Guenther, G., R. Thomas, and P. LaRocque (1996).	*"Design Considerations for Achieving High Accuracy with the SHOALS Bathymetric Lidar System"*	SPIE: Laser Remote Sensing of Natural Waters from Theory to Practice, Vol. 2964, pp. 54-71.
Hammerstad E. (1995).	*"Simrad EM 950/1000 - Error Model for Australian Navy"*	Extract of Report, Simrad Subsea AS, Horten, Norway, 4 p.
Hare, R. and A. Godin (1996).	*"Estimating Depth and Positioning Errors for the Creed/ EM 1000 Swath Sounding System"*	Proceedings of the Canadian Hydrographic Conference '96. Halifax, NS, Canada, pp. 9-15.
Herlihy, D., B. Hillard, and T. Rulon (1989).	*"National Oceanic and Atmospheric Administration Sea Beam System - Patch Test"*	International Hydrographic Review, Monaco, LXVI(2), pp. 119-139.
Hughes Clarke, J. (1995).	*"Reference Frame and Integration."*	Lecture IV-1 in Coastal Multibeam Hydrographic Surveys. United States / Canada Hydrographic Commission Multibeam Working Group, St. Andrews, New Brunswick, Canada.
Hughes Clarke, J. (1995a).	*"Interactive Bathymetry Data Cleaning"*	Lecture X-4 from Coastal Multibeam Hydrographic Surveys. United States / Canada Hydrographic Commission Multibeam Working Group, St. Andrews, New Brunswick, Canada.
Ingham, A. (1992).	*"Hydrography for the Surveyor and Engineer"*	3rd edition, BSP, Oxford.
Irish, J. and W. Lillycrop (1999).	*"Scanning Laser Mapping of the Coastal Zone: The SHOALS System"*	ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 54. pp. 123-129.
Irish, J., J. McClung, and W. Lillycrop (2000).	*"Airborne Lidar Bathymetry: the SHOALS System"*	PIANC Bulletin. 2000 (103), pp. 43-53.
Jung, W. and P. Vogt (1992).	*"Predicting Bathymetry from Geosat ERM and Ship Borne Profiles in the South Atlantic Ocean"*	Tectonophysics 210, pp. 235-253.

Lillycrop W., L. Parson, and J. Irish (1996).	*"Development and Operation of the SHOALS Airborne Lidar Hydrographic Survey System"*	SPIE: Laser Remote Sensing of Natural Waters from Theory to Practice, Vol. 2964, pp. 26-37.
Lillycrop, W. and J. Banic, (1993).	*"Advancements in the US Army Corps of Engineers Hydrographic Survey Capabilities: The SHOALS System"*	Marine Geodesy, Vol. 15, pp. 177-185.
Lillycrop, W., J. Irish, and L. Parson (1997).	*"SHOALS System: Three Years of Operation with Airborne Lidar Bathymetry - Experiences, Capability and Technology Advancements"*	Sea Technology, Vol. 38, No. 6, pp. 17-25.
Lillycrop, W., L. Parson, L. Estep, P. LaRocque, G. Guenther, M. Reed, and C. Truitt (1994).	*"Field Test Results of the U.S. Army Corps of Engineers Airborne Lidar Hydrographic Survey System"*	Proceedings of the 6th Biennial National Ocean Service International Hydrographic Conference, Norfolk, VA, pp. 144-151.
Parson, L., W. Lillycrop, C. Klein, R. Ives, and S. Orlando (1996).	*"Use of LIDAR Technology for Collecting Shallow Bathymetry of Florida Bay"*	Journal of Coastal Research, Vol. 13, No. 4.
Pope, R., B. Reed, G West, and W. Lillycrop. (1997).	*"Use of an Airborne Laser Depth Sounding System in a Complex Shallow-water Environment"*	Proceedings of Hydrographic Symposium XVth International Hydro Conference. Monaco.
Quinn, R., (1992),	*"Coastal Base Mapping with the LARSEN Scanning Lidar System and Other Sensors"*	Proceedings, 5th Biennial National Ocean Service International Hydrographic Conference, Baltimore.
Riley, J. (1995).	*"Evaluating SHOALS Bathymetry Using NOAA Hydrographic Survey Data"*	Proceedings 24th Joint Meeting of UNIR Sea Bottom Surveys Panel, Tokyo, Japan.
Sinclair, M. (1998).	*"Australians Get on Board with New Laser Airborne Depth Sounder"*	Sea Technology, June 1998, pp. 19-25.
Sinclair, M. (1999).	*"Laser Hydrography - Commercial Survey Operations"*	Hydro 99.
Smith, R. and M. Smith (2000).	*"Airborne Lidar and Airborne Hyperspectral Imagery: A Fusion of Two Proven Sensors for Improved Hydrographic Surveying"*	Proceedings Canadian Hydrographic Conference 2000.
Thomas, R. and G. Guenther (1990).	*"Water Surface Detection Strategy for an Airborne Laser Bathymeter"*	SPIE: Ocean Optics X, Vol. 1302, pp. 597-611.

USACE (2002).	*"Hydrographic Surveying Manual"*	U.S. Army Corps of Engineers, Department of the Army, Washington.
Vergos, G. and M. Sideris (1998).	*"On Improving the Determination of the Gravity Field by Estimating the Bottom Ocean Topography with Satellite Altimetry and Shipborne Gravity Data"*	Department of Geomatics Engineering, University of Calgary.
Whitman, E. (1996).	*"Laser Airborne Bathymetry - Lifting the Littoral"*	Sea Technology, August 1996, pp. 95-98.
Wozencraft, J. (2001).	*"The Coastal Zone Revealed Through Shoals Lidar Data"*	Proceedings US Hydrographic Conference 2001.
Wright, C. and J. Brock (2002).	*"EAARL: A LIDAR for Mapping Shallow Coral Reefs and Other Coastal Environments"*	Seventh International Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments Proceedings 2002.
Yakima, W., Wilt M., H. Morrison, K. Lee, and N. Goldstein (1989).	*"Electromagnetic Sounding in the Columbia Basin"*	Geophysics, Vol. 54, No. 8, pp. 952-961.

CAPÍTULO 3 – ANEXO A
SISTEMAS DE COORDENADAS Y REFERENCIA

A. Sistemas de coordenadas y referencia

La determinación de la profundidad se realiza en una nave es condiciones dinámicas. Usualmente, tres ejes ortogonales de un sistema de referencia (sistema de coordenadas de la nave), es usado a bordo para localizar los sensores hidrográficos y para medir el desempeño y el cabeceo de la nave.

El comportamiento de la nave consiste de los desplazamientos angulares sobre esos ejes, el rolido (transversalmente) sobre el eje x, el cabeceo (longitudinalmente) sobre el eje y, la guiñada (horizontalmente) sobre el eje z. Considerando un sistema de referencia derecho con el eje z apuntando hacia abajo; con la convención usual para la mayoría de los sensores de comportamiento el rolido es positivo cuando el lado de estribor esté abajo, el cabeceo es positivo cuando la popa esté arriba y la guiñada es positiva cuando rote en sentido de las agujas del reloj.

Considerando la Figura A.1, la rotación θ_1 en el plano yz, es decir, la rotación en el eje x, puede ser expresado por la matriz de rotación,

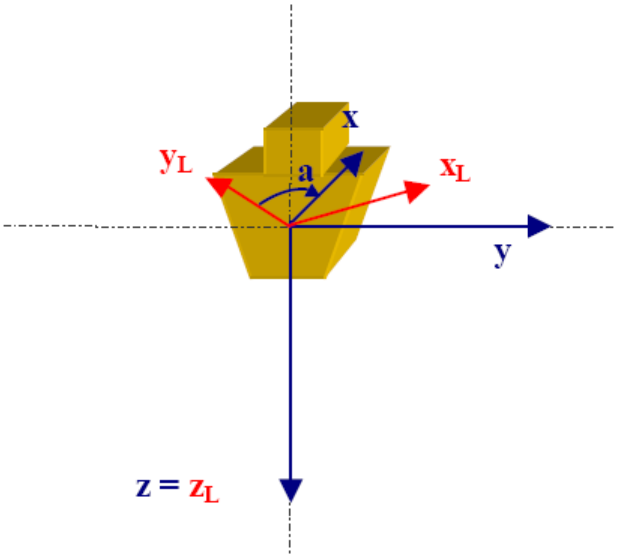


Fig. A.1. "Sistema de referencia de la nave"

$$R_1(\theta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\theta) & \sin(\theta) \\ 0 & -\sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \qquad \textbf{(A. 1)}$$

Y las rotaciones sobre los ejes *y* y *z* son respectivamente:

$$R_2(\theta) = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & 0 & -\sin(\theta) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(\theta) & 0 & \cos(\theta) \end{bmatrix}, \qquad \textbf{(A. 2)}$$

$$R_3(\theta) = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) & 0 \\ -\sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \qquad \textbf{(A. 3)}$$

La transformación que resulta de tres rotaciones secuenciales es representada por el producto de las matrices de rotación. Las rotaciones sucesivas son aplicadas a la izquierda de este producto.

Considerando las rotaciones sucesivas (θ_1, θ_2, θ_3) sobre los ejes "x", "y", y "z", la matriz de transformación es dada por,

$$R_3(\theta_3) \cdot R_2(\theta_2) \cdot R_1(\theta_1) =$$

$$= \begin{bmatrix} \cos(\theta_3)\cos(\theta_2) & \sin(\theta_3)\cos(\theta_1)+\cos(\theta_3)\sin(\theta_2)\sin(\theta_1) & \sin(\theta_3)\sin(\theta_1)-\cos(\theta_3)\sin(\theta_2)\cos(\theta_1) \\ -\sin(\theta_3)\cos(\theta_2) & \cos(\theta_3)\cos(\theta_1)-\sin(\theta_3)\sin(\theta_2)\sin(\theta_1) & \cos(\theta_3)\sin(\theta_1)+\sin(\theta_3)\sin(\theta_2)\cos(\theta_1) \\ \sin(\theta_2) & -\cos(\theta_2)\sin(\theta_1) & \cos(\theta_2)\cos(\theta_1) \end{bmatrix} \qquad \textbf{(A. 4)}$$

Las profundidades medidas, inicialmente referidas al marco de la nave, necesitan ser posicionadas en un sistema de coordenadas local. Considerando un sistema de coordenadas local ortogonal izquierdo; con el eje x apuntando al Este, el eje y apuntando al Norte geográfico, y el eje z apuntando hacia abajo.

En una nave de investigación con el rolido, cabeceo y balanceo respectivamente: θ_R, θ_P, y α; un haz con un rango de inclinación R y un ángulo β (Figura A.2), será transferido desde el triortogonal, derecho, del sistema de coordenadas de la nave $(x',y',z')_N$ al triortogonal, izquierdo, del sistema de coordenadas local $(x,y,z)_L$, con la rotación en el eje x el recíproco al ángulo del rolido ($-\theta_R$), la rotación en el eje y el recíproco al ángulo del cabeceo ($-\theta_T$), y la rotación en el eje z el recíproco al ángulo del balanceo ($-\alpha$) y ya que los dos ejes z son positivos hacia abajo, pero el sistema de coordenadas de la nave es un sistema derecho y el sistema de coordenadas local es un sistema izquierdo, es necesario intercambiar las coordenadas x y y durante la transformación del sistema de coordenadas de la nave al local. Esto se hace al aplicar la matriz R_{xy}.

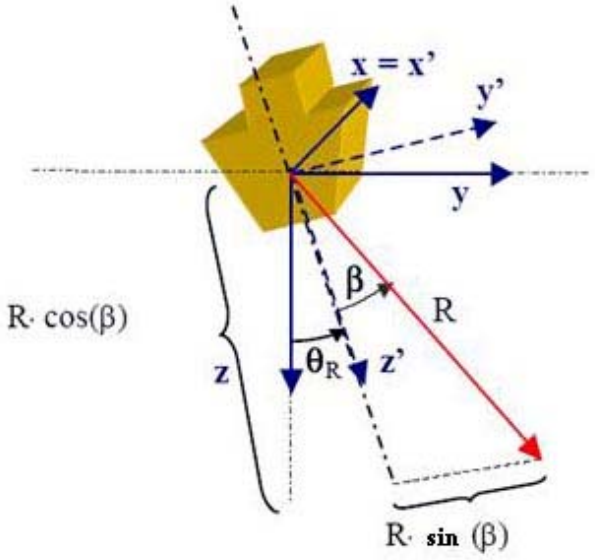


Fig. A.2. "Sistemas de referencia de nivel local y de la nave"

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_L = Rxy \cdot R_3(-\alpha) \cdot R_2(-\theta_T) \cdot R_1(-\theta_R) \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix}_N = T(\alpha, \theta_T, \theta_R) \begin{bmatrix} 0 \\ R\sin(\theta) \\ R\cos(\theta) \end{bmatrix}_N \qquad \textbf{(A. 5)}$$

Donde R_{xy} es dado por,

$$\mathrm{Rxy} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T(\alpha, \theta_T, \theta_R) = \begin{bmatrix} \sin(\alpha)\cos(\theta_T) & \cos(\alpha)\cos(\theta_R) + \sin(\alpha)\sin(\theta_T)\sin(\theta_R) & -\cos(\alpha)\sin(\theta_R) + \sin(\alpha)\sin(\theta_T)\cos(\theta_R) \\ \cos(\alpha)\cos(\theta_T) & -\sin(\alpha)\cos(\theta_R) + \cos(\alpha)\sin(\theta_T)\sin(\theta_R) & \sin(\alpha)\sin(\theta_R) + \cos(\alpha)\sin(\theta_T)\cos(\theta_R) \\ -\sin(\theta_T) & \cos(\theta_T)\sin(\theta_R) & \cos(\theta_T)\cos(\theta_R) \end{bmatrix}$$

Donde $T(\alpha, \theta_T, \theta_R)$ es la matriz de transformación del marco de medidas de referencia en el sistema de coordenadas local.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_L = \begin{bmatrix} (\cos(\alpha)\cos(\theta_R) + \sin(\alpha)\sin(\theta_T)\sin(\theta_R)) \cdot R\sin(\beta) + (-\cos(\alpha)\sin(\theta_R) + \sin(\alpha)\sin(\theta_T)\cos(\theta_R)) \cdot R\cos(\beta) \\ (-\sin(\alpha)\cos(\theta_R) + \cos(\alpha)\sin(\theta_T)\sin(\theta_R)) \cdot R\sin(\beta) + (\sin(\alpha)\sin(\theta_R) + \cos(\alpha)\sin(\theta_T)\cos(\theta_R)) \cdot R\cos(\beta) \\ \cos(\theta_T)\sin(\theta_R) \cdot R\sin(\beta) + \cos(\theta_T)\cos(\theta_R) \cdot R\cos(\beta) \end{bmatrix}$$

Note que el ángulo del haz es positivo al lado de estribor y negativo a babor.

_____

CAPÍTULO 4
CLASIFICACIÓN DEL FONDO MARINO Y DETECCIÓN DE ACCIDENTES

1. INTRODUCCIÓN

1.1 La hidrografía incluye la descripción de las características de los mares para un número de propósitos no restringidos a la navegación. Con la aparición de los sonares y los ecosondas de banda ahora se puede obtener una descripción más completa y detallada para el beneficio de la seguridad en la navegación y a otros usos. Obviamente, es impráctico encontrar cada característica o accidente en cada profundidad, así que la OHI ha determinado el tamaño mínimo de la característica que debe ser buscada y determinada en cualquier área en particular. La clasificación del fondo marino ha sido empleada para las operaciones de guerra de minas por muchos años, pero la llegada del software automatizado para la clasificación ha permitido un uso más amplio, particularmente para la industria pesquera y las industrias del medio ambiente.

1.2 En este capítulo, las frases clasificación del fondo marino y caracterización del fondo marino, y la detección de accidentes y la detección de objetos son sinónimas.

2. DETECCIÓN DE ACCIDENTES DEL FONDO MARINO

2.1 Antecedentes

2.1.1 Para garantizar la seguridad de la navegación es necesario detectar los accidentes del fondo marino que puedan ser un peligro para la navegación, bien sea naturales o hechos por el hombre. Un accidente se define como cualquier objeto en el fondo del mar que sea particularmente diferente al área que lo rodea; puede ser cualquier cosa desde una roca aislada en la llanura del fondo marino hasta los restos de naufragio o un obstáculo. Esta actividad es llamada detección de los accidentes del fondo marino. La detección de accidentes puede también ser utilizada para localizar e identificar las características que sean de interés para los navegantes, tales como naufragios y yacimientos mineros. El último puede no ser de importancia en la navegación pero es, sin embargo, de importancia para aquellos afectados.

2.1.2 Una medición tradicional desarrollará la batimetría de un área con la aplicación de una serie regular de líneas de sonda en el área. La cobertura del ecosonda multihaz (MBES) o la imagen del sonar de barrido lateral (SSS), son utilizadas para la detección de accidentes y para proporcionar la información sobre la clasificación del fondo del mar. En algunos casos la detección de accidentes es más importante que la adquisición de la batimetría. Los accidentes específicos que se han identificado con el MBES o con el SSS requerirán generalmente un chequeo más positivo de su posición y de profundidad mínima.

2.2 Normas

2.2.1 Hay varias normas para la detección de accidentes. Las más importantes son las contenidas en las publicacione S-44 y S-57 de la OHI.

2.2.2 OHI S-44 – Normas mínimas para Levantamientos Hidrográficos

2.2.1.1 La tabla 1 de la S-44, resumida en las tablas 4.1 y 4.2 más abajo, específica donde se retoma una búsqueda de accidentes y las capacidades del sistema de detección para cada Orden de Levantamiento:

2.2.1.2 Una vez detectado cualquiera de los accidentes considerados como importantes se debe tener su posición y la profundidad mínima sobre ellos determinado por las normas detalladas en la Tabla 1 de la S-44.

OHI S-44 Ordenes y áreas de ejemplo		Requerimiento para la exploración
Especial	Áreas donde la separación quilla-fondo es crítica	Exploración del 100% obligatoria.
Orden 1a	Áreas de profundidades menores de 100 metros donde la separación quilla-fondo es menos crítica, pero podrían existir rasgos de interés para la navegación.	Exploración del 100% obligatoria.
Orden 1b	Áreas de profundidades menores de 100 metros donde la sepa-ración quilla-fondo no se considera de interés para el tipo de buque que se espera transite por el área	Exploración del 100% no obligatoria.
Orden 2	Áreas generalmente más profundas a 100 metros donde se considera adecuada una descripción general del fondo marino.	Exploración del 100% no obligatoria.

Tabla 4.1 "OHI S-44 Requerimientos para la exploración"

Orden OHI S-44	Capacidades del sistema de detección
Especial	Rasgos cúbicos > 1 metro
Orden 1a	Rasgos cúbicos > 2 metros en profundidades hasta 40 metros; 10 % de la profundidad cuando ésta es mayor a 40 metros
Orden 1b	No aplicable
Orden 2	No aplicable

Tabla 4.2 "OHI S-44 Capacidades del sistema de detección"

2.2.3 OHI S-57 – Normas para la Transferencia de Datos Hidrográficos Digitales

2.2.3.1 La S-57 especifica las "Zonas de Confianza" (ZOC) como el método para codificar la información de la calidad de los datos. La ZOC fue adoptada para proporcionar una manera simple y lógica de clasificación de todos los datos batimétricos y para presentar al navegante la confianza que la autoridad de cartografiado nacional pone en él. Las áreas son clasificadas al identificar varios niveles de confianza que pueden ser puestos en los datos fundamentales usando una combinación de exactitud de profundidad y posición, el perfeccionamiento de la exploración del fondo marino y de la conformidad con un plan de calidad aprobado.

2.2.3.2 Las ZOC A1, A2 y B se generan de levantamientos modernos y futuros con la importancia que las ZOC A1 y A2 requieren de una exploración completa del fondo marino, es decir la detección de accidentes totales. Las ZOC C y D reflejan baja exactitud y datos de calidad

pobre, mientras que las ZOC U están designados a ser descritos en cartas de papel, como un diagrama inserto en el lugar de un diagrama de confiabilidad actual, y en muestras electrónicas.

2.2.3.3 Se debe enfatizar que las ZOC son una norma de cartografiado y que no están pensadas para ser usadas para especificar las normas de levantamientos hidrográficos o para la administración de la calidad de los datos de las autoridades hidrográficas individuales. La exactitud de la profundidad y de la posición especificadas para cada ZOC se refieren a los errores de sondeos finales mostrados e incluyen no solamente los errores de medición sino otros errores introducidos en el proceso de producción de las cartas.

2.2.3.4 Los criterios para la detección de accidentes de la ZOC de la S-57 están en la tabla 4.3:

S-57 ZOC	Requerimientos de exploración
ZOC A1	La exploración comprende toda el área, todos los accidentes significativos descubiertos del fondo marino han sido detectados y han tenido sus profundidades medidas. (ver la nota).
ZOC A2	
ZOC B	La exploración total del área no se logró, pueden existir accidentes desconocidos peligrosos para la navegación.
ZOC C	La exploración total del área no se logró, pueden esperarse profundidades anómalas.
ZOC D	La exploración total del área no se logró, pueden esperarse anomalías en las profundidades.
ZOC U	La calidad de los datos batimétricos aún está por evaluarse.

Tabla 4.3 “Criterios para la detección de accidentes ZOC”

Nota: Los accidentes significativos del fondo marino están definidos en el S-57 como aquellos que se levantan sobre profundidades representadas por más de:

0.1 x profundidad, en profundidades < 10 m,

1.0 m, en profundidades de 10-30 m, y

(0.1 x profundidad) menos 2.0 m, en profundidades de > 30 m.

2.2.3.5 El S-57 también detalla la posición relevante y exactitud de la profundidad requerida de los accidentes medidos.

2.2.4 Detección de accidentes peligrosos

2.2.4.1 El hidrógrafo debe estar claro del hecho de que muchas características que son potencialmente peligrosas a la navegación, pueden no considerarse bajo el criterio de “accidentes cúbicos” del S-44; por ejemplo los mástiles de los naufragios y de los pilares de ruinas. Sin embargo, los criterios de ZOC toman en cuenta esos accidentes si se levantan sobre profundidades representadas por la cantidad prescrita. La capacidad de detectar tales accidentes es un punto crítico cuando se considera el tipo de sistema a ser utilizado para la detección de accidentes. Por ejemplo, los tipos de accidentes serán normalmente detectados por el SSS pero pueden no ser detectado por el MBES, el Lidar y otros sistemas parecidos como, por ejemplo, el ancho de la huella del haz o los algoritmos de “filtro”.

2.2.4.2 Hasta donde le compete al hidrógrafo, el propósito de un sonar de barrido es de sondear el área entre las líneas adyacentes de sondeos para detectar cualquier accidente de importancia

significativa para el navegante. Aunque no se puede dar una definición estricta y rígida de la longitud mínima de un naufragio, los accidentes de menos de tres metros de longitud son poco probables de ser suficientemente representativos del fondo marino para causar preocupación. Por supuesto habrá ocasiones cuando esto no sea así (como en las áreas coralinas, o al buscar mástiles), y el hidrógrafo debe examinar todas las fuentes de datos disponibles antes de decidir la longitud mínima de los accidentes que él desea detectar.

2.2.4.3 Note que para todos los cálculos que siguen, se incluyen las velocidades sobre el suelo que no deben excederse. Se toma en cuenta la longitud del accidente no asi su altura. Lo que se usa para los cálculos es la longitud máxima de los accidentes que sólo reciben cinco pulsos, éste es considerado el mínimo para lograr la detección de los accidentes. Cuanta energía de los cinco pulsos en el accidente regresa al transductor depende de:

La forma del accidente, la extensión, la composición y el aspecto,

Las condiciones del sonar y

La naturaleza del fondo marino, y de otros factores.

2.2.4.4 La cantidad de energía que regresa del accidente controlará la intensidad de la marca impresa.

2.2.5 Requerimientos militares

2.2.5.1 Las fuerzas militares requieren de la detección de los accidentes más pequeños o más profundos que los requeridos para la seguridad de la navegación, por ejemplo algunas se dirigen a detectar las características con un tamaño de volumen de 0,5 metros en la plataforma continental a profundidades de hasta 200 m. Las fuerzas militares, al usar sensores especializados, se proponen detectar y clasificar accidentes aún más pequeños. Mientras que estos demuestran habilidades particulares, normalmente no requeridas por el hidrógrafo empleado en cartografiado náutico, existe un efecto resultante en el desarrollo de los sistemas capaces de lograrlos haciéndolos disponibles en el mercado comercial.

2.2.6 Informe sobre los accidentes

2.2.6.1 Mientras que es deseable investigar cada accidente que cumple con los criterios antes descritos, en áreas complejas ésto no será posible. Los hidrógrafos pueden necesitar utilizar su propio juicio para decidir cuáles características garantizan la investigación, después de considerar los recursos disponibles, el uso probable del área (el calado de los buques, etc), y la importancia probable del accidente notando las profundidades generales en el área. Por ejemplo, un banco de 26 metros en profundidades generales de 28 metros puede no garantizar una investigación adicional si una nave transitando el área debe en algún momento pasar a través de las profundidades generales de, por ejemplo, 20 metros. En tales casos puede solamente ser necesario asegurarse de que no hay indicación de muchas aguas bajas (ejemplo, aumentar las lineas a sondar, emplear el sonar etc).

2.2.6.2 Los criterios anteriores deben también ser utilizados para comprobar si un accidente debe ser incluido o no en cualquier informe sobre medición. En las áreas complejas esta lista puede ser poco manejable, por consiguiente el reporte necesita incluir solamente las características que son verdaderamente importantes en términos de profundidades generales y del uso probable.

2.2.6.3 Al final de cada levantamiento el hidrógrafo, siendo la única persona con toda la información a su disposición, debe dar una opinión firme del estado de cada accidente localizado, o sea, de los naufragios, el tipo de fondo, lo no examinado etc., con los

resultados incluidos en el Informe. Las características recientemente descubiertas, que pueden ser peligrosas para la navegación de superficie y submarina, y los accidentes cartografiados que se ha hallado han sufrido cambios significativos, deben ser reportados inmediatamente en la Oficina Hidrográfica Nacional (OHN). Las características no mostradas en las cartas en las profundidades menores a los 750 metros normalmente serían considerados para generar un “Aviso a los Navegantes”.

2.3 Métodos de detección de accidentes

2.3.1 Descripción

2.3.1.1 Hay varios métodos con los cuales se puede alcanzar la detección de los accidentes. El SSS tiene una capacidad bien probada para la detección de características y puede ser todavía considerado como el medio más confiable. Sin embargo, el SSS es objeto de limitaciones operacionales, en las que es remolcado generalmente detrás de la embarcación hidrográfica, lo que introduce los errores posicionales a las características. Estos errores pueden ser reducidos con el uso de los respondedores en la grúa de peces y/o al pasar la característica en la dirección opuesta para obtener una posición promedio. Las operaciones SSS son también objeto de la separación del nadir que requiere de que las líneas sean corridas con el solapamiento suficiente para detectar accidentes bajo las rutas adyacentes.

2.3.1.2 Una de las limitaciones principales del SSS es la velocidad del avance requerida para lograr suficientes ping en un accidente particular. Con pocas excepciones esto limita las operaciones de SSS a cerca de 6 nudos, que impacta la tasa de esfuerzos. La aparición del MBES ofrece la oportunidad de cumplir con los requerimientos de la detección de accidentes a velocidades más altas y, por lo tanto, aumentar la tasa de esfuerzo. Hasta la fecha, sin embargo, la detección con el MBES de las características del tamaño que cumpla con los requerimientos de la Orden Especial de la OHI y del ZOC A1/A2 u otras características pequeñas y potencialmente peligrosas, no puede ser garantizada a menos que se tomen ciertas precauciones, como la limitación del ancho útil de la banda y el cálculo de una velocidad de avance apropiada para la tasa de los ping.

2.3.1.2.1 La geometría de un transductor SSS en relación a un accidente es el factor clave que lo hace ser una herramienta útil para la detección de características. Las sombras detrás de una característica, pertenecientes al fondo marino, son el signo revelador de que un accidente ha sido sondeado. La geometría del transductor MBES en relación a las característcas de fondo marino resulta en la pérdida de casi toda la capacidad de la detección de sombras. Un hidrógrafo que desea utilizar el MBES para la detección de accidentes debe entonces confiar en otras características de los MBES para buscar cualquier accidente. Estas características son batimetría de alta resolución y la amplitud de la dispersión conectada con una capacidad de posicionamiento permitida para cada repetición exacta. Adicionalmente, mientras los accidentes son normalmente capaces de ser detectados por un operador durante la adquisición de la datos SSS, la detección usando el MBES está lejos de ser más incierta en este punto y el post-proceso es usualmente requerido para permitir que se vean los resultados.

2.3.1.3 Otros sensores que se pueden utilizar para la detección de accidentes incluyen el ecosonda de haz simple (SBES), el sonar de búsqueda avanzada, el magnetómetro y los métodos remotos como el de batimetría LiDAR aerotransportada (ALB) y el de Batimetría electromagnética aerotransportada (AEMB). Los métodos de detección de accidentes mecánicos, menos usados en estos días, incluyen el barrido de guaya, el dragado y el buceo.

2.3.2 Sonar de Barrido Lateral (SSS)

2.3.2.1 El SSS de canal dual es ahora aceptado como una ayuda esencial para el levantamiento moderno y permanece el hecho de que ningún levantamiento en la plataforma continental puede ser considerado completo a menos que se haya realizado un barrido completo del sonar e investigado todos los contactos.

2.3.2.2 Además de localizar las ruinas y las obstrucciones entre las líneas de levantamiento, el SSS también proporciona una cantidad considerable de otra información del fondo marino. Estos datos, cuando se combinan con las muestras del fondo marino y los contornos de la profundidad para producir la clasificación del fondo marino, son de gran valor para aquellos relacionados con las operaciones anfibias y para las operaciones militares y submarinas. La importancia de esta información ha crecido durante los años hasta un punto que, en muchos levantamientos, el sonar, en vez de las consideraciones batimétricas, gobierna la selección de la línea de dirección y de espaciado. Sin embargo, se necesita gran cuidado en la preparación y chequeo de esos datos si su potencial total se va a ver.

2.3.2.3 Cuando se usa en el levantamiento hidrográfico, el SSS tiene cuatro funciones principales:

- La detección de naufragios y de obstrucciones entre las líneas de sondeo. Aunque la posición exacta y la menor profundidad no pueden ser determinadas por el SSS, un sonar correctamente calibrado y utilizado detectará casi todos los accidentes significativos entre las líneas.

- La detección de otros accidentes del fondo marino. Correctamente usado, el SSS puede detectar accidentes muy pequeños del fondo marino. A pesar de que no sean peligrosas a la navegación, las posiciones de tales objetos, o grupos de accidentes, son de importancia considerable en operaciones militares y submarinas.

- La agrupación de la clasificación de la datos del fondo marino. El conocimiento de la textura del fondo marino, combinada con las muestras, es de gran importancia para las operaciones militares y submarinas, y para los pesqueros y el desarrollo de los recursos.

- La identificación de áreas dinámicas del fondo marino. La presencia de ondas de arena y de pliegues son indicaciones de que el fondo marino en un área en particular es dinámico. En las rutas importantes de tráfico marítimo estas áreas pueden requerir re-levantamientos periódicos para garantizar la seguridad de la navegación.

2.3.3 Consideraciones teóricas

2.3.3.1 La fuerza de la señal de retorno por un accidente dado es gobernada por varios factores ligados por una expresión conocida como la “ecuación del sonar” que puede ser utilizada para determinar si un tipo de accidente en particular será o no detectado. Una buena explicación de los términos implicados en esta ecuación, es dada en el “Informe sobre la Detección de Profundidades Anormales” FIG/OHI 1981. El documento estándar que debe ser consultado si un estudio adicional de este tema es requerido es el de los “Principios de Sondeo Submarino” de R.J. Urick. Se debe resaltar que esta ecuación puede formar solamente el punto de partida para una consideración del funcionamiento del SSS. Se debe insistir que esta ecuación solo puede formar el punto de partida para la consideración del rendimiento del Sonar de Rebusca Lateral debido a que no es posible conocer todos los términos de la ecuación.

2.3.3.2 La cobertura de rango corta. Hay una región cerca del remolque donde las separaciones en la cubierta del sonar pueden ocurrir. Estos espacios necesitan ser considerados en dos planos (ver la Figura 4.1):

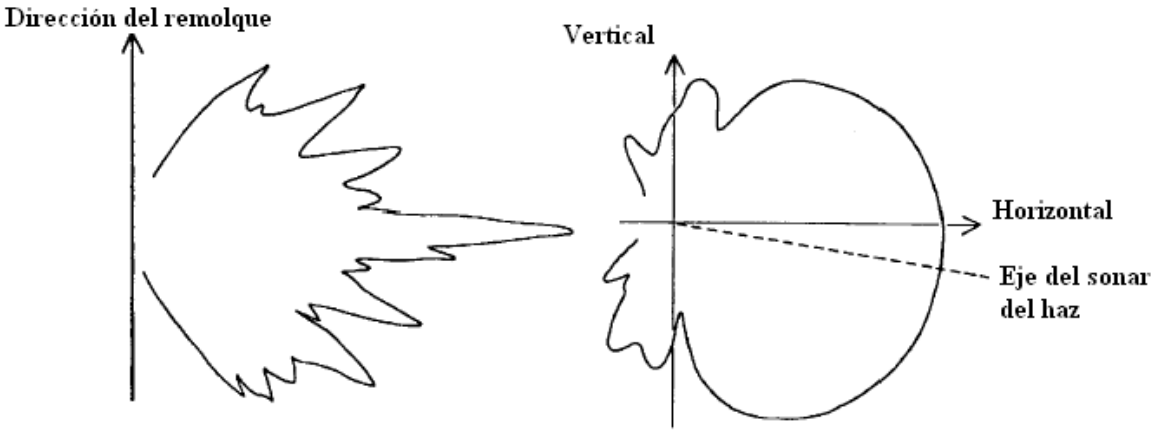


Fig. 4.1 "Cobertura horizontal del SSS y del haz vertical"

- El plano vertical. El haz principal del sonar tiene un ancho en el plano vertical de alrededor de 50°, con el eje del haz inclinado a 10º hacia abajo. Hay, por lo tanto, una región debajo del domo del sonar que esta fuera del haz principal; el tamaño de esta región es gobernado por la altura de los transductores del fondo marino. El concepto original de esta área no sondeada por completo es incorrecto. A menos que el domo del sonar esté a lo largo del fondo marino, esta zona está cubierta por los lóbulos laterales de los transductores, y las piezas recibirán cierta energía de sonido de las franjas del haz principal. (el borde del haz es tomado generalmente como la línea de media potencia, pero esto no es un punto absoluto de corte y cierta energía existe fuera de él). Aunque ocurre una separación en el registro del domo del sonar, es considerablemente más pequeña de lo que originalmente se pensó y puede ser de algunos metros de tamaño. Sin embargo, esta separación debe ser cubierta por un sonar desde las líneas adyacentes.

- El plano horizontal. Hay un área cerca del domo del sonar (el campo cercano) donde los pulsos de sonido tienen bordes paralelos. Como resultado, las separaciones pueden ocurrir entre los pulsos individuales del sonido. La separación en el campo cercano es una función de la velocidad de la nave y de la tasa de repetición de pulso. Más allá de esta área, el esparcimiento de los haces cierra los espacios para dar total cobertura. Los pequeños contactos están por lo tanto propensos a perderse cerca del domo del sonar en vez de más allá de él.

2.3.3.3 La exploración de áreas planificadas. Dos diferentes métodos de exploración de áreas planeadas pueden ser usados:

- Detectar contactos cerca del domo del sonar. La búsqueda está planeada para que el contacto más pequeño requerido pueda detectarse cerca del domo del sonar. El caso limitando requiere de dichos contactos en el campo cercano del haz del sonar para recibir cinco pulsos; fuera de esta área, la expansión del haz asegura que recibirán cinco pulsos por lo menos.

- Detectar contactos más allá del domo del sonar. La zona dónde puede que no se detecten contactos pequeños puede ser calculada para una escala en el rango dada en uso y en aceleración sobre la tierra. La separación entre líneas puede ser entonces ajustada de manera que los barridos de las líneas adyacentes por lo menos cubran los espacios. Alternativamente, el espaciado de la líneas puede ser fijado y la velocidad ajustada para asegurar que la cobertura total es lograda. Entonces con un rango de escala de 150 metros en uso y a una velocidad en la que los pequeños contactos puede

que no sean detectados dentro de los primeros 25 metros, el espaciado de las líneas no debe ser mayor a 125 metros.

2.3.3.4 El segundo de los métodos anteriores es normalmente empleado en la exploración en el área, ya que permite una velocidad de avance más rápida. Para una separación entre líneas de 125 metros usando la escala de rango de 150 metros, se descubrirán contactos de un metro en el campo cercano a una velocidad de 3.6 nudos. Confiando en su detección desde las líneas adyacentes permite un aumento de la velocidad hasta 7 nudos. Los detalles del cálculo a continuación (ver "Detección de accidentes y Cálculos de la Velocidad de Avance")

2.3.3.5 Confirmando el comportamiento del SSS. Mientras que estos cálculos darán capacidades teóricas es esencial que el comportamiento de un SSS sea confirmado en el campo antes del uso. Esto se logra al seleccionar un accidente apropiado, reflejando el tipo y tamaño del accidente requerido para ser detectado durante el levantamiento, y remolcando el SSS por él. Ambos canales del sonar, o sea, ambos lados, y cada escala de rango debe ser probada para determinar el máximo rango de detección.

2.3.3.6 La posición del domo del sonar de barrido lateral. Remolcar los transductores del sonar a popa del buque tiene varias ventajas que incluyen el remover del sensor los efectos del movimiento de la nave y operándolo a una altura sobre el fondo marino permitirá la sombra óptima. Sin embargo, hay una desventaja en la que éste sólo introduce la incertidumbre de la posición del domo del sonar. Este error tiene tres componentes:

- Un componente a lo largo de la huella, producto de la incertidumbre de cuan lejano está el domo del sonar de la popa del buque; esto depende de la longitud de cable de remolque, de la profundidad del domo del sonar y de la catenaria vertical del cable (los últimos dos también varían con la velocidad de la nave);

- Un componente de registro de la huella, causado por la desviación del domo del sonar por la acción de la marea o corriente, y por las maniobras de la nave;

- Errores en la posición de la nave o bote, que será transferida al domo del sonar.

2.3.3.7 La posición del domo del sonar puede ser determinada usando el sistema de posicionamiento (USBL) Línea de Base Ultra Corta que requiere de transductores/receptores para ser fijados en la nave y en el domo del sonar; sin embargo la exactitud de este sistema se deteriora rápidamente dependiendo del largo de la grúa. Un método alternativo, en desarrollo en Australia, utiliza la dirección y el ángulo de la depresión del cable de la grúa sobre la proa de la nave, junto con un modelo de la catenaria del cable de la grúa para predecir, con exactitud razonable, la posición del domo del sonar.

2.3.3.8 Además, el comportamiento del domo del sonar puede variar longitudinalmente y sobre su eje y por lo tanto la dirección de los haces del transductor puede fluctuar. Esto es especialmente verdad si el curso de la nave o la velocidad frecuentemente están cambiando y enfatiza la necesidad del solapamiento generoso durante el barrido del sonar. Planeando a los límites teóricos de desempeño es casi cierto dirigirse a separaciones en el barrido en la realidad.

2.3.3.9 El montaje en el casco. El SSS puede ser montado en el casco de la superficie de la nave. Las ventajas de esto son que su posición, y por ende su orientación, son conocidas con exactitud y por lo tanto el posicionamiento de los accidentes detectados es relativamente fácil. El montaje en el casco también permite la libertad de maniobrar la nave que no requiere el sensor de la grúa. Sin embargo, hay un número de desventajas al montar en el casco incluyendo el efecto del movimiento de la nave en el sondeo del SSS y del

desempeño, la posible interferencia mutua con otros sensores montados en el casco, Ej. Un MBES, y el hecho de que es poco probable que el SSS sea operado en aguas poco profundas o en áreas donde la topografía del fondo marino es potencialmente peligrosa, Ej., un arrecife. Si no fuera así, las desventajas del montaje en el casco normalmente sobrepasarían las ventajas.

2.3.4 Consideraciones operacionales

2.3.4.1 La estabilidad hidrodinámica del domo del sonar. Bajo la mayoría de las condiciones, el domo del sonar es altamente desligado de los efectos del movimiento de nave debido a la flexibilidad del cable de remolque. Se supone que normalmente el domo es completamente estable en el rolido, cabeceo y guiñada, aunque algún movimiento en todos estos sistemas ocurre indudablemente. Probablemente el rolido tiene un efecto relativamente pequeño en el registro del sonar, siendo compensado por el ángulo del ancho en el plano vertical. Una lista permanente en una dirección que puede ser causada por una aleta torcida o una irregularidad en el cable, puede, sin embargo, disminuir notablemente su desempeño. Esto debe sospecharse si un canal da una calidad diferente de un registro a otra.

2.3.4.2 En los casos extremos puede ser necesario sólo confiar en el canal "bueno" y permitirlo en las líneas de levantamiento planificadas. El cabeceo y la guiñada son más significantes; con un ancho de haz tan estrecho en el plano horizontal, estos movimientos podrían disminuir las probabilidades de detección de accidentes pequeños. Un accidente que recibiría al menos cinco pulsos con un domo estable puede sólo recibir tres o cuatro si el domo está oscilando en cualquiera de estas direcciones.

2.3.4.3 Se cree que el problema de la estabilidad del domo es menos importante que el de su posición. En aguas escabrosas los efectos de la oscilación del domo pueden ser normalmente vistos en forma clara en el rastro. Bajo estas condiciones la reducción en la probabilidad de detectar accidentes pequeños debe ser considerada. Con el uso creciente de compensadores de balanceo y de sensores de movimiento para los ecosondas, y la gran importancia relacionada a detectar pequeños contactos, las condiciones del sonar en el lugar del desempeño de los ecosondas puede ser el factor limitante para un eficaz levantamiento.

2.3.4.4 La altura del domo del sonar. Para la mayoría de los trabajos la altura óptima del domo del sonar sobre el fondo marino es de un 10% del rango de la escala en uso, ej., para la escala de 150 metros el domo debe estar a 15 metros sobre el fondo marino. Los transductores del SSS son dirigidos ligeramente hacia abajo de manera que al mover el domo muy cerca al fondo marino puede reducir el rango del que se puede recibir los retornos. Si el domo está muy alto, las sombras acústicas puede que no se formen detrás de las obstrucciones haciéndolas más difíciles de detectar. Esto es especialmente verdad en las aguas profundas, cuando un compromiso debe ser hecho entre la necesidad de mantener el domo abajo en una profundidad útil y mantener una velocidad de avance razonable.

2.3.4.5 En las áreas de relieves muy altos en el fondo del mar puede ser prudente remolcar el sonar más alto de lo normal; en este evento la reducción en la sombra acústica en los accidentes resistentes pertenecientes al fondo marino deben ser tenidos en mente. Este efecto es el peor cierre en el domo del sonar donde la detección de pequeños contactos es de hecho la más difícil.

2.3.4.6 En aguas poco profundas puede que no sea posible colocar el domo tan alto del fondo marino como se desea. Aunque el registrador estará dando un rastro del fondo a través de lo ancho del papel, el haz del sonar puede no estar sondeando el rango entero. Bajo estas condiciones la única solución es reducir el rango de la escala y la separación entre las líneas.

2.3.4.7 Como una limitación adicional en las aguas poco profundas los transductores pueden estar muy cerca de la superficie con poco cable de remolque. Esto introducirá el problema del ruido de la superficie (como las olas y la estela de los barcos) degradando el desempeño y puede llevar también a que el domo sea afectado adversamente por el movimiento de la nave. Los efectos de las capas de agua y de las termoclinas en el SSS, pueden ser ignorados normalmente, ellos tienen un efecto muy pequeño en el rango en las frecuencias usadas.

2.3.4.8 Cuando se están investigando los contactos con el sonar el domo, éste debe estar suficientemente alto sobre el fondo marino para permitirle que pase por encima de las obstrucciones en el caso de un accidente “on top”. La profundidad mínima sobre los accidentes puede usualmente ser estimada inicialmente desde la longitud de la sombra obtenida durante la exploración del área.

2.3.4.9 Si es necesario remolcar el domo del sonar a una altura distinta a la óptima, siempre debe realizarse un chequeo de confianza para confirmar que el sistema continúa cumpliendo con la detección y otros requisitos. La altura del domo puede controlarse fácilmente por una combinación de cable y la velocidad de la nave. El balanceo rápido en una longitud del cable agarrará el domo hacia arriba rápidamente, después de esto se estabilizará hacia atrás más lentamente. Esta técnica puede ser muy útil al levantar el domo por encima de los peligros inesperados. A medida que la longitud del cable aumenta este método resulta menos eficaz.

2.3.4.10 Depresores. Algunos domos de SSS pueden ser equipados con depresores que llevarán los peces a una mayor profundidad por una longitud de cable de remolque dada o por la velocidad de avance. Aunque esto puede reducir el largo de la grúa requerida hay un número de desventajas en el uso de los depresores:

- Aumentan la tensión en el cable dando como resultado el requerimiento de un “winche” más potente si la inclinación va a ser ajustada en el camino; y los procedimientos manuales pueden volverse imprácticos.

- El alcance más corto del cable resulta en la transmisión del movimiento de la nave bajo el domo del sonar;

- Pueden reducir el efecto de un aumento en la velocidad y/o la reducción en el alcance del cable del remolque en la altura del domo del sonar, por lo que se niega el uso de esta técnica para superar los peligros inesperados.

2.3.4.11 Cuando se opera en una proximidad cercana al fondo marino es prudente asegurarse de que el domo está equipado con un mecanismo de viaje que le permite voltearse y seguir en uso después de un impacto. En este caso, es posible que las aletas se pierdan, pero al menos el domo como tal es recuperado. Algunos SSS modernos evitan el problema de la pérdida de aletas con solo tener aletas que miran hacia arriba.

2.3.4.12 La dirección del remolque. En condiciones normales el SSS debe ser remolcado dentro y fuera de la corriente/ flujo de marea predominante para minimizar su efecto en el domo del sonar en la forma de los errores de posición al través. Donde los efectos de flujo/corriente de la marea no son un problema el SSS debe ser remolcado en paralelo a los contornos batimétricos. Esto minimiza el requerimiento de tener que ajustar continuamente la inclinación de la grúa cuando se vierte dentro y fuera de las aguas poco profundas.

2.3.4.13 Sin embargo, hay excepciones a estas reglas. En áreas de ondas de arena, en particular, puede ser necesario remolcar el SSS a los ángulos adecuados del eje de las ondas de arena.

Esto asegura que el SSS revise las crestas/depresiones de las ondas de arena para evitar la posibilidad de las áreas de sombra donde los accidentes no serán detectados, ver Figura 4.2.

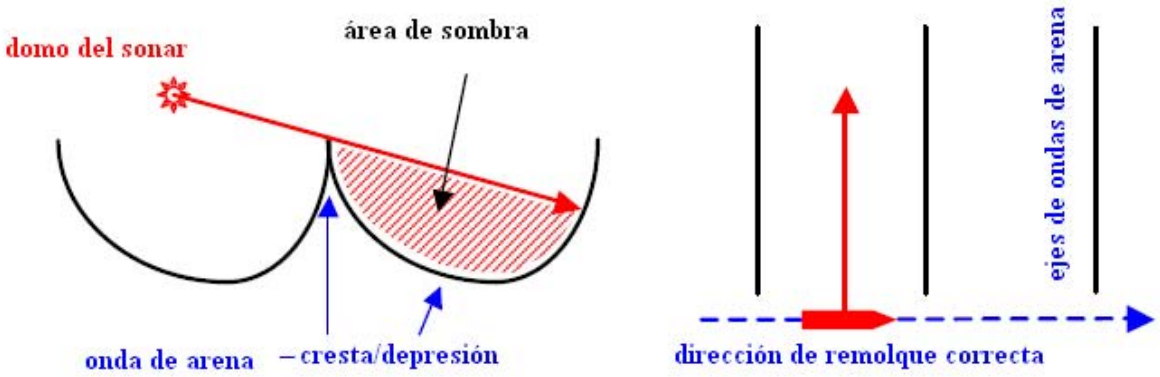


Fig. 4.2 "El Sonar de Barrido Lateral – Áreas de sombra potencial en ondas de arena y la dirección de remolque correcta"

2.3.4.14 Rango Eficaz del Sonar. La presencia de marcas en el rastro del sonar no indica necesariamente que los ecos de retorno están siendo recibidos. Las pérdidas de la transmisión, interferencias de otras fuentes de ruido, condiciones de agua y las limitaciones del registrador, todos restringen el rango útil del SSS. Por ejemplo con un sonar de 100 kHz , el máximo alcance que puede esperarse es 270 metros para incluso grandes restos de naufragios ; con contactos menores (1-2 metros) es improbable que se detecten mas allá de los 120-150 metros.La detección de rangos varía entre los diferentes modelos de SSS y de sus frecuencias – A mayor frecuencia menor es el rango de detección, aunque el grabado resultante puede ser mejor. Los mejores resultados normalmente serán logrados restringiendo la escala del rango a 150 metros para sacar provecho de las tasas de pulso más alto y de la resolución más alta. Una pequeña prueba usando un contacto de fondo marino apropiado en rangos variantes normalmente dará información de las condiciones de sonar en el área de estudio.

2.3.5 Distorsiones de los registros del sonar

2.3.5.1 Los sonogramas nunca representan mapas isométricos del fondo marino. Varios factores distorsionantes tienen que ser reconocidos cuando se interpreten los mosaicos sonográficos en forma de mapa. A menos que las distorsiones hayan sido eliminadas digitalmente antes que el mosaico haya sido compilado. Las principales causas de distorsión son:

- La compresión del grabado sonográfico con el aumento de velocidad - una distorsión ocurrirá paralela al curso hecho bien debido a las velocidades variables de la nave y a la constante velocidad de alimentación del papel, resultando normalmente en una compresión del registro en esta dirección;

- La altura del domo sobre el fondo marino introducirá una distorsión lateral perpendicular a la dirección de viaje;

- Un fondo marino inclinado introducirá distorsiones perpendiculares a la dirección de viaje que son diferentes en el tope de la inclinación y en los lados de debajo de la inclinación.

2.3.5.2 Para una velocidad de la nave dada, el rango de escala, la velocidad del papel y la altura del domo del sonar, las distorsiones pueden ser calculadas. Durante los barridos de área estos efectos generalmente sólo necesitan ser considerados en los contactos de trazado; durante las investigaciones estos necesitan ser considerados en detalle. La velocidad durante las investigaciones deben ser ajustadas para dar la menor distorsión posible, cerca de 3.0 nudos es usualmente lo ideal.

2.3.5.3 El efecto de Espejo Lloyd. Durante las operaciones del sonar en muy calmadas condiciones de reflejo de alguna de la energía del sonar puede ocurrir de la superficie del mar, como se muestra en la Figura 4.3. Esto es conocido como el Efecto de Espejo Lloyd y resulta en una serie de máximos y mínimos en la imagen del sonar. Este efecto normalmente ocurre sólo cuando el domo está cerca de la superficie y puede minimizarse al remolcar el domo más profundamente.

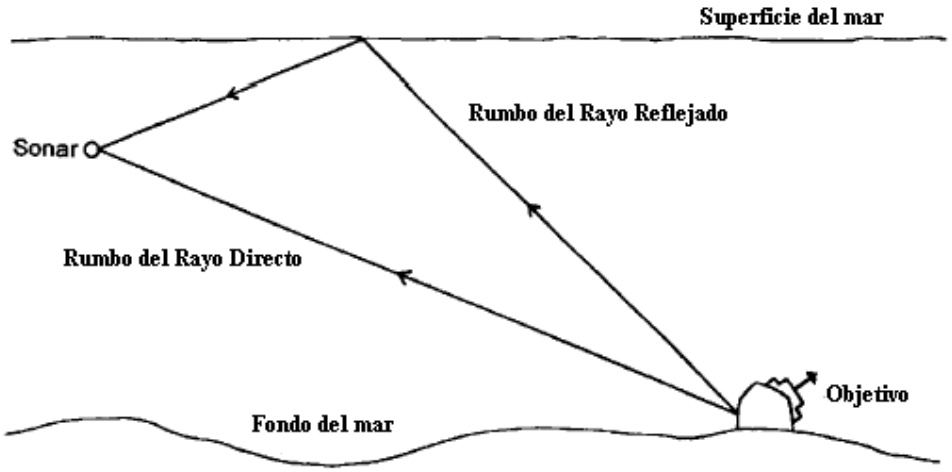


Fig. 4.3 "Efecto de Espejo Lloyd"

2.3.5.4 Comunicación cruzada. La comunicación cruzada entre dos canales SSSS puede resultar en una imagen de espejo de los accidentes del fondo marino desde un canal siendo mostrado en el canal opuesto, aunque usualmente más débil. El cruce de información puede resultar en la imagen verdadera de los lados afectados siendo oscurecidos. Esto puede prevenir la detección de accidentes o a la errónea "detección" de lo que son, de hecho, copias de los accidentes reales del lado opuesto. Esto puede ser un problema particular en áreas donde hay accidentes numerosos en los que puede ser difícil verificar lo que es real y lo que no lo es.

2.3.5.5 El efecto de inclinación. Si el lado del explorador del domo del sonar no está siendo remolcado a nivel, en otras palabras está inclinado hacia un lado, el canal que está mirando hacia el fondo del mar dará resultado a una señal retorno más fuerte y por lo tanto a una imagen más oscura; por otro lado, el canal que está mirando hacia arriba dará resultado a una imagen más clara. La clasificación del fondo marino está basada en la interpretación de la imagen de sombra, un resultado de la fuerza relativa de la señal de retorno de los diferentes tipos de fondo marino. El efecto de inclinación puede por lo tanto dar resultado a una interpretación difícil o hasta errónea.

2.3.5.6 El Control de Ganancia Automática (AGC). El AGC fue introducido como un medio de asegurar que la imagen del SSS fuera optimizada para la detección de accidentes. En otras palabras, en las áreas de un retorno fuerte, como en una roca, la ganancia era automáticamente disminuida para permitir a los accidentes ser detectados en un medio

"suave". Sin embargo, como con el efecto de inclinación, el alterar la ganancia y de hecho la sombra de la imagen resultante, también da dificultad a la clasificación del fondo marino, si no imposible. Por esta razón el AGC debe ser apagado si la imagen del sonar va a ser usada para la clasificación del fondo marino.

2.3.5.7 La perturbación del agua y la estela. Si el SSS es remolcado muy cerca de la superficie la imagen puede ser afectada por los retornos de la perturbación del agua y de la estela de otras embarcaciones o hasta por la misma nave remolcadora si ésta ha hecho un giro recientemente. Una vez más, dicha interferencia puede impactar seriamente la clasificación del fondo marino y es importante que un registro del sonar sea mantenido para que dichos incidentes puedan ser grabados para ayudar a la interpretación de las imágenes subsiguientes.

2.3.5.8 Las termoclinas. Como con cualquier sonar, las transmisiones de SSS son objeto de los efectos de su paso por el agua con las propiedades cambiantes y las que pueden dar resultado a la distorsión de la imagen. Mientras el software puede ser usado para "moldear" la imagen a su forma original, es importante para el higrógrafo conocer el grado de sondeo del sonar que es usado para sobrellevar este problema. Por ejemplo, en áreas importantes para la navegación, un nivel más alto de redundancia de sondeo puede ser requerido con las líneas adyacentes en la dirección opuesta y posiblemente líneas adicionales en los ángulos correctos, con un rango de escala corto seleccionado. En áreas menos importantes el rango de escala empleado puede ser mayor y el grado de solapamiento y de redundancia menor y por lo tanto la distorsión se puede convertir en más que un problema.

2.3.5.9 "Las imágenes de sonido sub acuáticas – Una guía de la Generación y la Interpretación de la Datos del Sonar de Barrido Lateral" (Fish JP y Carr HA, 1990) es un ejemplo de un texto de referencia que puede ser usado para ayudar a la interpretación del sonar.

2.3.6 Detección del accidente

2.3.6.1 Las siguientes suposiciones son hechas:

- El tamaño del accidente es definido como la longitud presentada normal al haz del sonar.
- El número mínimo de retornos para hacer una marca discernible en el rastro es tomado como cinco;
- Se asume la velocidad del sonido de 1500 m/seg;
- El ángulo del haz del sonar es 1.5°.

2.3.6.2 Términos y Unidades:

El intervalo del pulso -	t	segundos
El intervalo de repetición de pulso:	F	pulsos por segundo
Velocidad de la nave (sobre el suelo)	V	metros por segundo
La Longitud del accidente	L	metros
La velocidad de sonido en el agua de mar	C	metros por segundo
La escala de rango de registrador	Rm	metros

Ancho del haz	Bw	metros
El rango inclinado para el contacto	Rs	metros
La longitud de la alineación	I	metros
La distancia de viaje entre pulsos	d	metros

2.3.6.3 Ecuaciones básicas:

$$F = \frac{C}{2Rm} \text{ pulsos por segundo} \; ; \; ^{o} \; ; \; t = \frac{1}{F} \text{ segundos}$$

Porque ϕ es un ángulo muy pequeño, el ancho del haz en un rango dado (Bw) = Rs x ϕ

2.3.6.4 Puede verse en la Figura 4.4 que el accidente A es el rango más largo que NO PUEDE recibir cinco impulsos; puede recibir un máximo de cuatro (ej: los impulsos 2, 3 y 4 o el ping 1 ó 5). Sin embargo, teóricamente, un pequeño aumento en la longitud del accidente A significaría que recibió cinco ping; en general, para los pulsos de N su longitud se da por:

$$L = V \text{ x } t \text{ x } (N - 1) – Bw \qquad \textbf{(4.1)}$$

2.3.6.5 El accidente B es el accidente más pequeño que DEBE (teóricamente) recibir 5 impulsos; es capturado por el primero, y simplemente excluido por el sexto. Su longitud se da por:

$$L = V \text{ x } t \text{ x } N - Bw \qquad \textbf{(4.2)}$$

Esencialmente ésta es la misma ecuación usada para determinar la velocidad durante el eco sondas. Ambas fórmulas asumen que el haz del sonar es divergente.

2.3.6.6 En general, la ecuación (4.1) se usa para determinar:

- La longitud de accidente que recibirá cinco impulsos a una velocidad dada sobre el suelo;
- La velocidad sobre el suelo que no puede ser excedida si un accidente de una longitud determinada va a recibir cinco impulsos.

2.3.6.7 Puede haber ocasiones cuando el hidrógrafo cree más prudente usar la ecuación (4.2) dando una probabilidad de detección mayor.

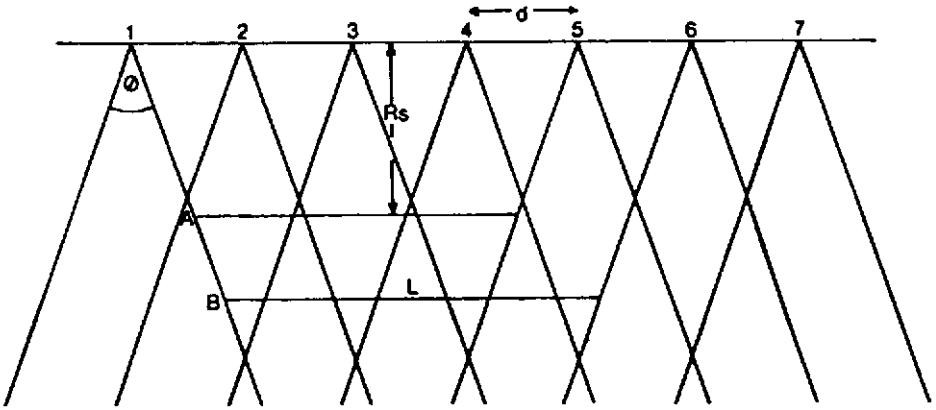


Fig. 4.4 "Diagrama que muestra la detección de accidentes"

2.3.7 Cálculo de la Velocidad de Avance (SOA)

2.3.7.1 Una escala típica de estudio es 1:25,000 para este caso usualmente el espacio entre líneas es de 125 metros con el SSS en la escala de rango de 150 metros. En general, es ventajoso si la batimetría y el barrido de sonar pueden llevarse a cabo al mismo tiempo. Con líneas de separación de 125 metros una banda de 25 metros a cada lado de líneas adyacentes es sondeada, aunque esto puede ser reducido con el mantenimiento de línea voluntario.

2.3.7.2 Para reconocer un accidente con el sonar SSS es necesario asegurarse que reciba cinco impulsos. Para identificarlo como un accidente significativo se requiere de la detección confirmatoria desde otra línea. Esto no significa que los contactos no descubiertos en las líneas adyacentes pueden ser desechados como falsos sino que un desecho pequeño al borde exterior del trazado SSS puede pasarse por alto fácilmente.

2.3.7.3 En un área barrida, es necesario entonces determinar la velocidad sobre el suelo que no debe ser excedido para que un accidente de un metro de longitud deba recibir cinco impulsos desde dos líneas adyacentes. Esto da la "Velocidad de Avance sobre el Suelo" (SoG) que no debe ser excedida.

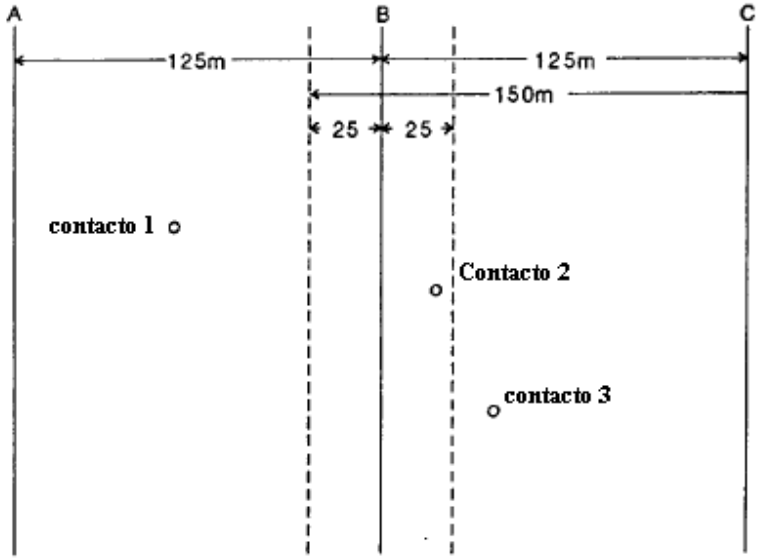


Fig. 4.5 "Calculo de la Velocidad de Avance"

2.3.7.4 En la figura 4.5 A, B y C son tres líneas separadas a 125 metros. Un buque de levantamiento está operando su SSS en el rango de escala de 150 metros. ¿Qué criterio debe satisfacerse?

2.3.7.5 Cerca del Campo: El límite del campo cercano normalmente está dentro de los 20 metros. Por consiguiente con un solapamiento de 25 metros de las líneas adyacentes, un accidente que no haya recibido cinco impulsos en un rango dado en el campo cercano en la línea B recibirá cinco impulsos de ambas líneas tanto de A como de C. En este caso la velocidad de la detección del campo cercano es de 3.6 nudos no es un factor limitante.

2.3.7.6 Lejos del Campo: El contacto 1 debe ser detectado desde las líneas A y B, El contacto 2 recibirá cinco impulsos de las líneas A y C; el contacto 3 las recibirá de las líneas B y C. Es necesario calcular la velocidad sobre el suelo que no debe ser excedida si un contacto de longitud L va a recibir cinco impulsos en 25 metros.

Si L = 3.0 metros entonces:

De la ecuación (4.1) la longitud máxima de un accidente que no tendrá cinco impulsos:

$$L = V \times t \times (N - 1) - Bw$$

donde $Bw = 25.0 \cdot_x \phi$

$N = 5$

$t = 0.2$ segundos

$L = 2.999$ m (ver la nota)

Nota: Teóricamente un accidente ligeramente más largo, o sea de 3.0 metros, debe recibir cinco impulsos

reajustando: $V = \dfrac{L + Bw}{(N - 1) \times t}$

$= \dfrac{2.999 + 0.6545}{4 \times (0.2)}$

$=$ 4.57 m/sec or 8.9 nudos

2.3.7.7 De hecho por razones prácticas los domos del sonar no deben ser remolcados a velocidades el suelo superiores a 0.8 nudos, o los accidentes pequeños se perderán, o los 10 nudos a través del agua desde la velocidad anterior el domo del sonar esta propenso a guiñar. También note que si cinco impulsos en un accidente van a ser “garantizados” entonces la ecuación (4.2) deberá ser usada dando una V de 3.65 m/seg. ó 7.1 nudos.

2.3.7.8 Si el requisito es detectar accidentes de 1,0 metro de longitud desde dos líneas entonces:

$V = \dfrac{0.999 + 0.6545}{4 \times (0.2)}$

$=$ 2.067 m/sec or 4.0 nudos

2.3.7.9 Sin embargo si sólo se necesita cinco impulsos en un accidente de un metro desde una línea entonces:

$$V = \frac{0.999 + (72.5 \times Bw)}{4 \times (0.2)}$$

$$= 3.623 \text{ m/sec or } 7.0 \text{ nudos}$$

2.3.7.10 El peligro de usar la última de las ecuaciones anteriores es que la probabilidad de la detección de un accidente pequeño en una situación de "oportunidad única" es baja.

2.3.7.11 Los SSS "Veloces". A medida que la tecnología evoluciona algunos SSS son capaces de ser operados a velocidades mayores sobre el suelo de lo que se podía anteriormente. Un ejemplo es la serie Klein 5000 que emplea un haz dirigido y técnicas de enfoquen simultáneamente generando varios haces adyacentes y paralelos a los costados. Este diseño de multihaces permite velocidades de remolque superiores, mientras proporcionan imágenes de alta resolución. Otros desarrollos de los SSS incluyen el uso de técnicas de apertura interferométricas, de multi pulso y sintéticas. Sin embargo, como con todos estos sensores, es esencial que su desempeño sea validado con los objetivos conocidos, que representan accidentes requeridos para ser detectados. La validación debe seguirse de chequeos iniciales y regulares de confianza en el área de estudio.

2.3.8 Registro de errores

2.3.8.1 Una pregunta que necesita ser respondida es qué tan lejos puede ir la nave antes de que sea creada una separación en cobertura. Asumiendo que solamente una detección (cinco impulsos) es requerida a un accidente de 1,0 m, un levantamiento estándar de 1:25,000 está siendo hecho con líneas de 125 metros de separación y el rango de escala seleccionado es de 0-150 metros, entonces el solapamiento es de 25 metros. La suma de cualquier error debe contenerse dentro de esta figura. Por ejemplo:

Posición del domo	e1	10 m
Navegación de buque	e2	5 m
Efecto de inclinación	e3	1 m
Variaciones velocidad del sonido	e4	1.5 m
Por consiguiente	$\sum e^2$ =	128,25 m.
Error total RMS	E =	11.3 m

2.3.8.2 El solapamiento es de 25 metros, sin embargo sólo 24 metros son útiles (el contacto tiene que pintar) por consiguiente el error total del trazado aceptable es = $\sqrt{[24^2 - \Sigma e^2]}$ = 21 m

2.3.8.3 Esto asume que un accidente es detectable a 149 metros, donde se representará como un punto negro de 0.8 mm por 0.8 mm con una sombra de l mm (eso es si la sombra no se borra por el rango de la línea de 150 m). Una concesión más prudente afuera de trazado sería 15 metros; esto traza como 0.6 mm a una escala de 1:25 000.

2.3.9 Uso práctico del Sonar de Barrido Lateral

2.3.9.1 El barrido del área es el nombre dado al método de exploración de sonar estándar hidrográfico. Las categorías del barrido de sonar requerido para cualquier levantamiento

dado será especificado en las instrucciones del levantamiento. Un ejemplo de las categorías de la exploración SSS es como sigue:

Las Categorías A y B. La exploración en un sentido y/o en su recíproco atizando el SSS. Donde sea práctico, las líneas adyacentes van a ser corridas en direcciones opuestas. Las exploraciones de todos los naufragios listados van a ser conducidos. Los ejemplos de la separación de las líneas de sondeo, la escala del rango, el solapamiento a ser logrado y la velocidad máxima sobre el suelo a ser usada están dados en la Tabla 4.4.

Los barridos de categoría A están dirigidos para ser los barridos estándar para las áreas costeras y para las áreas de costa adentro no sujetas al reestudio rutinario. Estos barridos están diseñados para lograr el sondeo teórico del fondo del mar del 240%, es decir (2 x el rango del sonar efectivo/línea de separación)x 100 =% de sondeo.

Los barridos de categoría B logran un sondeo del fondo marino teórico del 133% y pueden ser usados para los reestudios de rutina y en profundidades mayores a 100m donde el descubrimiento de todos los accidentes es menos crítica.

La Categoría C. Sólo explora los naufragios listados que van a ser conducidos.

La Categoría D. Las exploraciones especiales como se ordenan. Esto incluye las instrucciones e especiales para el uso de un SSS en particular y de los sonares montados en los cascos etc.

Categoría	Tipo de Levantamiento	Espaciado de las Líneas del Sonar	Rango de Escala del Sonar	Velocidad Máxima sobre el suelo marino	Traslape de Líneas Adyacentes
A1	Especial	125 m	150 m	6 kt	25 m
A2	Levantamientos costa adentro y costeros >1:25,000 en profundidades de <15 m	62.5 m	75 m	8 kt (ver nota 2)	12.5 m
	Levantamientos costa adentro y costeros >1:25,000 en profundidades de <50 m	125 m	150 m		25 m
	Levantamiento de plataforma en profundidades >50 m y/o escala <1:25.000	250 m	300 m		50 m
B1	Levantamientos (re estudios) rutinarios,	250 m	150 m		50 m
B2	Escala de levantamiento de plataforma <1:25.000 en profundidades >100 m.	500 m	300 m		100 m

Tabla 4.4 "Exploración con Sonar de Barrido Lateral - Categorías A y B – Criterios de ejemplo"

Notas:

1. El solapamiento bajo las líneas adyacentes es para permitir el mantenimiento de línea voluntario limitado y las inexactitudes posicionales. Si el hidrógrafo considera que las inexactitudes posicionales y/o el mantenimiento de líneas voluntario excede esta figura entonces él debe ajustar el espaciado de las líneas o el rango de la escala, con los ajustes subsiguientes de velocidad, como sea necesario.

2. Ver los comentarios anteriores con respecto al uso de SSS “rápidos” que pueden permitir aumentar estas velocidades.

2.3.9.2 Se enfatiza que estos reflejan las normas mínimas; si hay alguna duda sobre el desempeño del sonar, el espaciado de las líneas debe ser recortado o la velocidad reducida. En todos los casos es necesario referirse a las normas relevantes de la S-44 de la OHI o a la ZOC de la S-57 para asegurarse que se cumplen las normas de los requisitos de exploración.

2.3.9.3 La aplicación de una serie regular de líneas rectas paralelas sigue siendo la manera más eficaz de cubrir un área de estudio. La dirección de la línea estará cerca a la dirección de la corriente de marea para minimizar el desplazamiento del domo del sonar. La separación entre líneas para el sonar está determinada por el rango de la escala usada y por el solapamiento requerido. Se recomienda que el solapamiento entre las líneas adyacentes sea de 125%

2.3.9.4 Para el levantamiento militar en la plataforma continental en profundidades menores a 200 m, el requisito es casi siempre el detectar todos los contactos más grandes que un metro de magnitud. Con el equipo existente esto no puede lograrse fácilmente y se debe lograr un compromiso entre los requerimientos del sonar y la batimetría. Un barrido del sonar que detecte contactos de un metro en las profundidades menores de 140 m proporciona este compromiso. Para la escala normal de l: 25.000 esto significa una separación entre líneas de 125 m, un rango de escala de de 150 m y una velocidad sobre el suelo no mayor a 7 nudos. El equipo existente no puede utilizarse eficazmente en profundamente que sobrepasen los 150 m y en aguas de 150 y 200 m de profundidad, la búsqueda será restringida para localizar naufragios grandes y obstrucciones.

2.3.9.5 Los Vehículos Ordinarios Submarinos (UUV). El uso de un UUV equipado con un SSS y un MBES se está volviendo más común cada día. Estas plataformas permiten a los sensores ser operados a grandes profundidades y a la apropiada altitud sobre el fondo marino. Es por esto que es probable que los accidentes pequeños sean capaces de ser detectados a mayores profundidades de lo que es posible actualmente cuando se utilizan sensores montados en el casco de la superficie de la nave o e remolcados.

2.3.9.6 Los barridos de sonar debe ser siempre hechos con líneas orientadas tan cerca como sea posible, paralelas al flujo de la marea principal en el área del estudio. Los errores del cruce de trazado en la posición del domo son invariablemente mayores que aquellas a lo largo del rumbo, y cada esfuerzo debe hacerse para minimizarlos. A una velocidad de 6 nudos con 400 m de cable y una corriente de marea de 2 nudos, una diferencia de 10° entre el flujo de la marea y la dirección de la línea puede compensar el domo a 17 m de la línea.

2.3.9.7 El correr una línea del sonar extra inmediatamente fuera de cada borde del área de estudio es necesario para asegurar que la categoría de barrido ordenada continúa al límite del área. Igualmente, se debe tener cuidado para asegurar que el domo del SSS haya despejado el borde del área del estudio antes que se termine una línea de estudio.

2.3.9.8 Se debe recomendar que la velocidad y las probabilidades de detección de accidentes calculados aquí son teóricas y no toman en cuenta las condiciones del sonar adversas y las fallas del equipo.

2.3.9.9 Delineado de Contactos. La detección de contactos en el fondo marino entre las líneas del levantamiento es una de las razones principales para usar el SSS. El último uso de la información siempre debe ser considerado al decidir qué contactos se deben identificar; por ejemplo, los submarinos no basarán sus operaciones en las áreas de fondo marino irregulares y las operaciones militares serán usualmente seleccionadas para evitarlas. En áreas de fondo marino llano el propósito debe ser siempre detectar y delinear cada

contacto; en áreas más escabrosas este estándar tendrá que ser más flexible. Todos estos contactos deben ser delineados y asignados de un número que se será incluido últimamente en el modelo de clasificación de fondo marino.

2.3.9.10 Se han desarrollado varias técnicas para el trazado de los contactos de los registros manuales de SSS; todos intentan reducir los errores en la posición de contacto causada por errores en la posición del domo y de su orientación. Diferentes técnicas van a ser usadas para los contactos delineados en las áreas de exploración, investigación y de examen

- Los contactos de las búsquedas de área son usualmente delineados desde dos direcciones a 180° de separación. El método estándar de "*layback y offset"*debe ser usado, con la media de dos posiciones asumida como la posición más probable.

- Las investigaciones deben producir un mínimo de dos pares de rectas para cada contacto con ángulos rectos entre ellos, orientados de tal manera que fijen las extremidades.

- Cuando un contacto es examinado por el ecosondas, la mejor posición de "la cima" será usada como preferencia a cualquiera derivada de un SSS, donde sea posible una línea de eco sonda debe pasar la longitud del eje largo del contacto.

2.3.9.11 Mediciones por Sonar. Un buen registro “beam-on” del SSS de un naufragio o de una obstrucción puede ser usualmente utilizado para estimar la altura sobre el fondo marino usando la “sombra” del sonar. Aunque no es lo bastante exacta para propósitos de cartografiado, esta altura es muy útil para la seguridad de la embarcación y del domo al planificar investigaciones. Las estimaciones del haz y la longitud de un naufragio puede ser también obtenida por el rastro del sonar. Los siguientes aspectos siempre deben ser considerados:

- Al estimar las alturas de las sombras del sonar la presencia de partes más altas del naufragio (como los mástiles), que no generan una sombra perceptible, deben ser siempre tenidos en cuenta;

- La altura de las sombras debe ser medida por ambos lados del naufragio y los resultados promediados -esto ayuda a corregir los errores introducidos por la pendiente del fondo marino (debe ser notado que las alturas obtenidas en el área cerca del nadir por este método debe ser estimada hasta un 20%);

- Las medidas de longitud y anchura deben ser siempre tomadas perpendiculares de la huella del domo y deben siempre ser corregidas de distorsiones del rango de inclinación.

2.3.9.12 Conduciendo Investigaciones. Las investigaciones (o exámenes) son conducidas para mejorar la clasificación de un contacto localizado durante una exploración de área. La siguiente técnica es recomendada:

- Relocalizar el contacto con el SSS, con el propósito de pasar a 50-100 m de él; esto normalmente será suficiente para eliminar los contactos efímeros;

- Verificar y/o mejorar su posición;

- Conducir el examen.

2.3.9.13 La escala de150 m es normalmente la mejor (el uso de la escala de75 m puede dar resultado a la sombra de un contacto grande que se extiende fuera del rastro). La velocidad debe mantenerse a aproximadamente 3 nudos para reducir las distorsiones en el registro, con el domo aproximadamente a 15 m claro del fondo marino. Si los registros obtenidos son buenos, cuatro rutas (comprendiendo dos pares perpendiculares) deben ser suficientes. En el caso de naufragios, un par de huellas deben estar paralelas al eje a lo largo del naufragio y un par perpendicular a él.

2.3.9.14 El procedimiento anterior normalmente dará los datos suficientes para determinar si un examen de un eco sondas es requerido y si también permitirá tomar medidas de longitud, del haz y altura. Los SSS siempre deben recuperarse antes de finalizar el sondeo. Si varios contactos necesitan una prueba con sonar en el área general, puede ahorrarse tiempo examinando el grupo completo con el sonar antes de recuperar el sonar y de obtener una profundidad menor por el ecosonda.

2.3.9.15 Exploraciones refutadas. Los naufragios cartografiados, las obstrucciones u otros accidentes peligrosos que no se han localizado y examinado durante el levantamiento deben ser refutados si es posible. No se retirarán de la carta sin una declaración positiva del hidrógrafo responsable que lo justifique y explique el motivo. El procedimiento para dirigir una disputa de una exploración está escrita a continuación:

- Los accidentes cuyas posiciones han sido establecidas previamente pero que no pueden encontrarse durante el levantamiento necesitan una investigación muy detallada para refutarlas. Dichas exploraciones deben incluir un barrido de sonar en dos direcciones en los ángulos rectos entre ellos y una exploración cerca del ecosondas sobre el radio de entre 0.5 y 2.5 Millas Náuticas desde la posición trazada. Puede darse consideración también a realizar un barrido con guaya.

- Al buscar un accidente cuya posición sólo es aproximadamente conocida (normalmente un naufragio (PA)), la búsqueda del sonar también debe emprenderse en dos direcciones a los ángulos rectos y debe darse consideración a extender la búsqueda sobre un radio de por lo menos 2.5 Millas Náuticas, una distancia basada en la probabilidad estadística de dicha búsqueda es muy exitosa. Sin embargo, si el hidrógrafo está seguro de que la búsqueda del área inicial en una de las direcciones fue hecha completamente, y que el equipo del sonar estaba operando satisfactoriamente, entonces él puede considerar que no es necesaria una segunda búsqueda en la otra dirección. Es preciso considerar el tamaño e historia del naufragio en cuestión y a la posición en que se alega puedan quedar. Si, durante el barrido inicial del sonar, también se despliega un magnetómetro y no se registra ninguna anomalía magnética, dentro de las 2.5 Millas Náuticas de la posición trazada, esto puede ser aceptado como evidencia adicional de que un naufragio con un volumen predominantemente férreo no existe en el área.

- La búsqueda de los naufragios que no estén dentro de un levantamiento regular debe extenderse a un radio de por lo menos 2.5 Millas Náuticas. Si hay necesidad de llevar a cabo un segundo barrido a ángulos rectos del primero dependerá de las mismas consideraciones que el anterior.

2.3.9.16 Cualquiera sea el resultado de las investigaciones, Si son parte de estudio de envergadura o a pruebas individuales, el hidrógrafo debe informar los resultados por completo con los archivos de soporte necesarios y una recomendación positiva acerca de lo que se va a hacer a futuro.

2.3.10 Errores de posición de los contactos del sonar

2.3.10.1 Durante los estudios de áreas normales la principal preocupación del hidrógrafo es intentar sondear todo el fondo marino para descubrir cualquier accidente significante. Cualquier accidente de tamaño importante será usualmente corregido exactamente por el ecosonda.

2.3.10.2 Sin embargo en algunos levantamientos especiales es esencial que una posición sea tan precisa como sea posible para cada contacto dado, particularmente para los contactos de fondo marino pequeños. Éstos no serán necesariamente corregidos por el ecosonda. Es entonces necesario considerar todos los errores que aumentan en el delineado de un contacto del trazo del SSS.

2.3.10.3 Las incertidumbres en la posición de un contacto derivarán de lo siguiente: (e.j. ±1 σ):

La incertidumbre en la posición del buque.	5.0 m
La incertidumbre en la posición de el domo (ver nota).	10 m
Las variaciones debido a la velocidad del sonido asumido (1500 m/seg).	1.5 m
La resolución en el trazado del papel. (0.75% escala del rango).	0.75 m
Los errores debido a la inclinación del fondo marino.	1.0 m
Por consiguiente, el error total (RMS) (1 sigma) =	11.4m

Nota: Esta puede ser una cantidad desconocida dependiendo de la precision del sistema de remolque del domo. La evidencia sugiere que el domo puede oscilar en 20m sobre la huella del buque de remolque. El valor es también dependiente de la profundidad y de la longitud del cable de remolque. Un estimado de ±10 m es por lo tanto asumido.

2.3.10.4 Los valores dados anteriormente sólo son ejemplos y la lista no es exhaustiva. El hidrógrafo debe considerar la Tabla de errores para cada parte de su estudio y debe hacer un comentario en el Informe de Estudio, como en el caso de los errores del ecosonda.

2.3.10.5 La incertidumbre en la posición del domo es la fuente más grande de error. A menos que se utilice un método de posición precisa el domo es empleado, los hidrógrafos deben hacer cada esfuerzo para minimizar los desplazamientos planificando derrotas paralelas a las corrientes de marea predominantes. Si esto no es posible, cada oportunidad debe aprovecharse para cuantificar el desplazamiento del domo como referencia a los accidentes del fondo marino cuyas posiciones son conocidas. Si hay cualquier riesgo que el sondeo total no esté lográndose, la solución más simple es el cierre de la línea del sonar, aceptando que esto producirá una reducción en la tasa de esfuerzo.

2.3.11 Trazado y mediciones desde los registros del sonar

2.3.11.1 *Layback.* Es la distancia a popa de la embarcación que asume que el domo para posicionarse (ver Figura 4.6). En el curso normal puede calcularse de la siguiente forma:

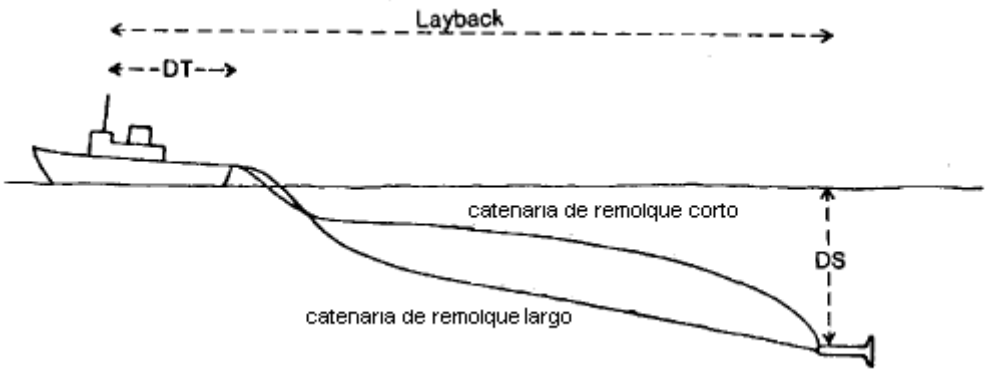


Fig. 4.6 "Sonar de barrido lateral Layback"

Nota: Cuando el cable de remolque excede los 100 m, el seno del cable tiene un efecto mayor en el remolque que las propiedades hidrodinámicas del domo.

Layback = DT + $\sqrt{}$ [WO^2 - DS^2]

Donde: DT = la distancia horizontal desde el punto fijo hasta el inicio del remolque,

WO = la cantidad de cable fuera del punto del remolque, y

DS = la profundidad del domo debajo de la superficie.

2.3.11.2 Esto asume que el cable toma un camino en la línea recta desde punto del remolque hasta el domo. Obviamente ésta es una simplificación, el cable realmente está en una catenaria irregular en los planos horizontal y vertical.

2.3.11.3 La Corrección Para el Rango de la Inclinación El rango de la inclinación puede corregirse al rango horizontal simplemente con el uso del teorema de Pitágoras. Si el fondo marino presenta una pendiente entonces se tendrá que aplicar un factor de corrección.

2.3.11.4 La Geometría de Heighting del SSS. Una de las más importantes capacidades del SSS es la habilidad de permitir la medición de la altura de un accidente desde la longitud de su sombra en trazado del sonar. Sin embargo, esta capacidad depende de que el SSS sea operado a la altura correcta sobre el fondo marino y de la selección del rango de escala óptima. La geometría de Heighting del SSS es mostrada en la figura 4.7.

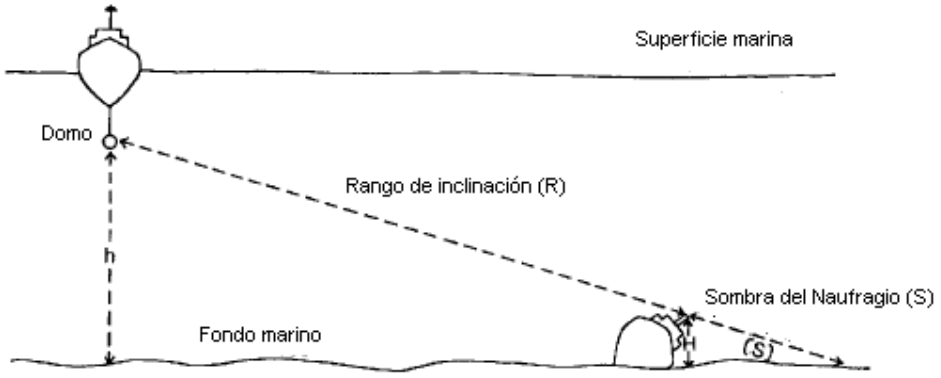


Fig. 4.7 "Geometría de Heighting" del Sonar de barrido lateral"

Por lo tanto, por los triángulos similares $H = \frac{S \times h}{R + S}$

Donde	H=	Altura del accidente
	S=	Longitud de la sombra del accidente
	R=	Inclinación del accidente
	h=	Altura del domo sobre el suleo marino

2.3.12 Ecosondas Multihaz (MBES)

2.3.12.1 Para la batimetría el MBES ha demostrado sus capacidades superiores que le permiten proporcionar (en la teoría) el 100% del sondeo del fondo del mar cumpliendo con las especificaciones de batimetría de la OHI. El hecho de que un transductor de ecosonda de multihaz sea rígidamente montado en el casco del buque hidrográfico significa que su posición puede ser calculada tan precisa como la del sistema de posicionamiento en uso. Acoplado con la capacidad de formar los haces discretos, el MBES se está convirtiendo en una buena herramienta para los levantamientos batimétricos.

2.3.12.2 Dadas las capacidades de posicionamiento del MBES, subsecuentes pasadas sobre el mismo rasgo estacionario deben dar exactamente la misma posición georeferenciada. La pequeña diferencia, si la hay, está en la posición del contacto es de gran ventaja cuando se busca por accidentes que pueden ser revisitados para propósitos de identificación in-situ por ROV o por buzo. Sin embargo, los transductores fijos dan como resultado anchos ángulos de incidencia, los que no son apropiados para la detección de accidentes de tiempo real usando los mismos principios de modelos de sombra del SSS. La detección, por consiguiente, debe enfocarse en las variaciones en la batimetría resultante causada por un accidente en el fondo marino.

2.3.12.3 Métodos de levantamiento. Los requisitos para un levantamiento MBES dónde un SSS es remolcado simultáneamente, son similares a los requisitos para SBES tradicional. El uso de una serie regular de líneas rectas paralelas es la manera más eficaz de cubrir un área de estudio. La dirección de la línea probablemente se determinará por los requerimientos del SSS, la dirección es cercana a la dirección de la corriente de la marea. Una diferencia con el MBES es que ya que el sistema recolecta los datos en una matriz que es tan densa a lo largo de la línea como a través de la nave, no hay ningún requisito para cruzar los contornos en ángulos rectos para determinar su posición con precisión.

2.3.12.4 La separación entre las líneas de sondeo es como de costumbre determinada por la escala del rango en uso y al solapamiento requerido. La diferencia aquí es que casi el 100% del cobertura será especificado para la batimetría también. En las aguas poco profundas bajo 30 m la separación entre las líneas requeridas para lograr el 100% de cobertura de la batimetría con el MBES puede ser menos que para lo requerido del SSS. Será potestad del hidrógrafo determinar si es más eficaz completar la cobertura con el SSS como normal, y después correr los entrerrenglones usando el MBES sólo donde se requirió, o de completar la cobertura del MBES en el primer paso.

2.3.12.5 Donde el multihaz determina el espaciado de líneas, el espacio requerido dependerá del promedio y de las profundidades mínimas del área. El ancho del haz del multihaz es dependiente de la profundidad. Donde la profundidad varía significativamente en el área de estudio, puede ser más eficaz separar el área completa en sub secciones y de correr cada sub sección con un espacio entre líneas apropiadas a su profundidad. Las recomendaciones actuales son para lograr un promedio de solapamiento entre las bandas adyacentes de 25% con un solapamiento mínimo del 10%.

2.3.12.6 Donde el MBES sólo determina la dirección de la línea del levantamiento, y donde el perfil de la velocidad del sonido a través de un área es similar, entonces la dirección de la línea más eficaz será la paralela a las líneas del contorno de la profundidad. De esta manera, el ancho de la banda, y el solapamiento entre las bandas adyacentes, será más parejo y la separación entre líneas será más ancha.

2.3.13 Consideraciones para usar el MBES

2.3.13.1 A pesar de las predicciones y de las especificaciones del fabricante, la detección de accidentes pequeños y potencialmente peligrosos por el MBES no pueden darse por hecho. Por ejemplo, aun cuando el mástil de un naufragio tiene pulsos del MBES, los algoritmos de reducción de ruido incorporados eliminarán probablemente el accidente; mientras que al bajar o apagar dichos factores . introducirá tanto ruido como para que la datos sea inútil.

2.3.13.2 Otro factor fundamental es la geometría de haz del MBES. Las distintas marcas y modelos son de diferentes diseños y, en algunos casos, dejan espacios entre los haces relativamente grandes que no son sondeados. El MBES interferométrico, por ejemplo, pueden padecer detecciones pobres en el área del nadir debido, simplemente, a la física de ese tipo de sistema.

2.3.13.3 Los hidrógrafos deben verificar el desempeño del MBES antes de que sea empleado para el descubrimiento de un accidente; incluyendo la determinación de un ancho de banda apropiado, la tasa del impulso, la velocidad en uso etc.. Muchas agencias responsables del cartografiado náutico todavía requieren el uso del SSS para el descubrimiento de accidentes. La data batimetrica es obtenida con el MBES y con el SSS, obtienen una verificación de la detección de accidentes del SSS. La geometría del haz MBES y el potencial de detección se discuten en detalle en *"How Effectively have You covered Your Bottom?*" de Miller JE, Hughes Clarke JE, & Paterson J – The Hidrographic Journal No. 83 de enero 1997.

2.3.14 El Magnetómetro

2.3.14.1 Este instrumento puede ser muy útil para diferenciar un naufragio de una roca, si el naufragio es férreo. Una descripción breve de la teoría de funcionamiento de magnetómetros puede encontrarse en el FIG/IHO de 1981 “Report on the Detection of Depth Anomalies”.

2.3.14.2 Donde sea posible, un magnetómetro debe ser usado durante el barrido básico del sonar ya que éste proporcionará la evidencia adicional de la existencia de material férreo sobre o debajo del fondo marino, aunque no pueda localizarlo con precisión.

2.3.14.3 La intensidad del campo magnético de un objeto férreo es proporcional al cubo de la distancia desde el objeto. Una fórmula general para calcular el cambio en el campo en nanoteslas (nT) que se esperan ya que el magnetómetro desplazado de su accidente es:

$$M = \frac{50.000 \times W}{D^3}$$

Donde	M =	cambio en la intensidad del campo en nT,
	W =	el peso de metal férreo en toneladas,
	D =	la distancia del objeto al detector en metros

2.3.14.4 Generalmente, 5 nT es el cambio más pequeño de la intensidad del campo magnético que puede descubrirse fiablemente. Entonces, para un cambio en la intensidad de 5 nT, la ecuación anterior puede escribirse para dar:

$$D = \sqrt[3]{10\ 000 \times W}$$

o, para una serie de accidentes:

Objeto	**Rango de Detección**
Ancla de 100 kg	10 m
1 tonelada de objeto en forma de mina	22 m
2 toneladas de cañón	27 m
10 tonelada de naufragio	46 m
100 toneladas de naufragio	100 m
1000 toneladas de naufragio	200 m

2.3.14.5 Por ejemplo, durante un barrido en un área con las líneas separadas a 125 m en una profundidad de 50 m y con el magnetómetro remolcado a 3 m por debajo de la superficie, de la tabla anterior podrá verse que:

- Un naufragio férreo de 100 toneladas probablemente será descubierto desde al menos uno de un par de líneas adyacentes y cualquier cosa más grande a 1000 toneladas debe ser detectado en varias líneas.

- Un naufragio férreo de 10 toneladas puede sólo ser detectado directamente por debajo del magnetómetro.

- Cualquier cosa menor a las 10 toneladas es poco probable de ser detectado;

- Una nave de aproximadamente 1.000 toneladas (de metal férreo) debe remolcar el magnetómetro a 200 metros de la popa o los rangos de detección tabulados serán degradados seriamente.

2.3.14.6 Muchos magnetómetros están diseñados para ser remolcados muy cerca del fondo marino. Esto aumentará la probabilidad de detección de objetos férreos pequeños. Sin embargo, se debe tener cuidado y prevenir de engañar el cable del SSS, un peligro menos evidente con un magnetómetro remolcado de superficie.

2.3.15 Otros métodos para detectar accidentes

2.3.15.1 Otros sensores con el potencial para la detección de accidentes son:

El Ecosonda de haz simple (SBES). No es normalmente empleado para la detección de objetos en aguas poco profundas debido a su ancho de haz relativamente estrecho, que hace de la búsqueda del área total algo impractico. Los SBES pueden usarse para verificar los MBES que tienen en su nadir una detección pobre, y en el agua profunda más allá del rango de aguas poco profundas. Sin embargo, en todos estos casos se debe considerar el uso del SSS para la detección de accidentes.

Batimetría de Lidar Aerotransportada. Los sistemas de ALB contemporáneos como los LADS Mk. 2 y CHARTS son capaces de dar una exploración total al área y de detectar objetos en dos metros cuadrados. Esto significa que ellos pueden cumplir con las normas de la OHI, en las aguas condicionadas para los funcionamientos del ALB. Se espera el

desarrollo futuro para disminuir más el tamaño de los puntos para permitir la detección de objetos más pequeños.

Batimetría Electromagnética Aerotransportada. Originalmente diseñado para el levantamiento geofísico, los métodos AEM ofrecen el potencial para el descubrimiento de accidentes pero esta capacidad tiene que ser demostrada todavía ante las normas de la OHI.

Sonares de búsqueda avanzada (FLS). Originalmente designados sólo para la navegación y para evitar colisiones, algunos desarrollos recientes de FLS ofrecen capacidades batimétricas y de detectar accidentes. Actualmente, sin embargo, no se ha demostrado que estas capacidades cumplen con las normas de la OHI para la detección de accidentes, pero pueden lograr las normas de batimetría bajas. No pueden ser consideradas en realidad como sensores de levantamientos hidrográficos independientes.

2.3.16 Obtención de la profundidad mínima definitiva sobre un accidente

2.3.16.1 El hidrógrafo debe establecer la menor profundidad por encima de los naufragios y obstrucciones y la próxima guía puede ayudar a decidir el método de exploración, es decir, obteniendo la menor profundidad. Cualquiera sea el método empleado, la opinión del hidrógrafo acerca de la exactitud la menor profundidad obtenida es de vital importancia y debe declararse en el Informe de Estudio. Si una menor profundidad no se logra, la exploración todavía debe producir las recomendaciones positivas con respecto a la exactitud probable de la profundidad obtenida y su futuro en la carta.

2.3.16.2 La exactitud horizontal y vertical de la menor profundidad puede reflejar el criterio de exactitud detallado para el levantamiento como un todo y, a su vez, aquellas normas de la S-44 y/o de la S-57 de la OHI.

2.3.17 Ecosonda de poca profundidad

2.3.17.1 La menor profundidad puede ser obtenida de la saturación del sondeo con SBES. La separación necesaria entre líneas será calculada según el ancho del haz del ecosonda con las profundidades generales del área, permitiendo un solapamiento de por lo menos 25% entre las líneas. Un llamado de atención se hizo en el capítulo 3, párrafo 4.5, en relación al calculo del área sondeada por ecosondas de haz sencillo.

2.3.17.2 Alternativamente, los MBES pueden permitir obtener la menor profundidad. Sin embargo, como fue explicado previamente, si el MBES es empleado el hidrógrafo debe estar seguro que las capacidades del sistema son tales que la menor profundidad definitiva pueda ser determinada. Este es particularmente el caso, si la menor profundidad está encima de un mástil o de un accidente similar. Las consideraciones incluyen el ancho y la separación del haz, la velocidad en uso, partes óptimas de la banda (o sea, el nadir, y la banda interior o media) a ser colocados sobre el objeto, y el número y la dirección de los pasos requeridos. Puede ser, sin embargo, que el MBES se emplee mejor para identificar el límite de un accidente para permitir un primer paso, o al menos, un examen de MBES menos extenso para determinar la menor profundidad.

2.3.18 Uso de Buzos

2.3.18.1 Una alternativa es utilizar buzos asumiendo que la visibilidad, la fuerza de corriente de la marea y profundidad del accidente permiten su empleo. Donde pueden emplearse los buzos, las naves deben planificar el tiempo suficiente para completar la tarea con seguridad y precisión. Si se usan las medidas de profundidad para determinar la profundidad, la exactitud de las medidas debe ser determinada. La menor profundidad sobre un accidente

normalmente puede obtenerse por los buzos en menos de una hora, mientras que un barrido con tendido de guaya puede tomar a menudo cuatro horas o más.

2.3.18.2 En ciertas circunstancias, el higrógrafo será dirigido a usar buzos. Si la menor profundidad tiene probabilidad de ser menor de 30 m, el uso de un buzo debe ser considerado. Si un naufragio ha sido barrido con guaya o ha sido investigado por buzos dentro de los últimos 5 años, su posición está inalterada, y las profundidades del ecosonda sobre él no muestran ninguna alteración significante, el uso de buzos no debería ser necesario.

2.3.18.3 Donde las profundidades generales alrededor del naufragio son notablemente diferentes de aquellos en las cartas o cuando se sabe que desde el último levantamiento ha habido trabajos de remoción del fondo, el uso de buzos puede ser necesario.

2.3.18.4 Si los trazos del SSS indican que el buque está cayendo sobre su lado, o con la parte más elevada de la quilla y se han obtenido varias profundidades consistentes del ecosonda la investigación exhaustiva no debe ser necesaria. Sin embargo, si hay cualquier posibilidad de que hayan estructuras proyectándose que pueden no haberse revelado en el sonar o ecosonda, entonces los buzos deben ser empleados.

2.3.18.5 Las áreas marcadas como “foul” en las cartas, especialmente en un anclaje, necesitan una consideración especial debido a que el movimiento del fondo marino puede exponer ruinas que previamente no fueron consideradas peligrosas; el informe de un buzo es especialmente útil en estas circunstancias.

2.3.18.6 En las áreas de fuerte corriente de marea y un fondo marino dinámico, el escombro puede cambiar y es posible que para la menor profundidad sobre él se vuelva notablemente menor. Los naufragios en áreas como estas deben ser siempre vistos con suspicacia y donde otra evidencia lo sugiere como necesario, el buceo debe llevarse a cabo.

2.3.19 Otros métodos

2.3.19.1 Otros métodos para obtener la menor profundidad sobre un objeto incluyen el barrido por guaya (ver el siguiente párrafo) y el uso de vehículos autónomos y remotos equipados con los sensores apropiados. Estos, solamente, pueden ser utilizados para identificar el punto más bajo en el accidente para las mediciones subsiguientes. Estos métodos no se describen en detalle aquí.

2.3.20 Método de barrido con cable para naufragios

2.3.20.1 En muchos casos los únicos medios positivos para establecer la menor profundidad sobre un pináculo de piedra o del naufragio es el uso del barrido direccionado con guaya. Hay varios métodos:

2.3.20.2 Barrido direccionado desde una sola nave. Éste es un método lento pero exacto que es, no obstante, imposible si el viento y la marea están en ángulos rectos y difícil si están en sentidos opuestos. Los ángulos de la guaya deben ser mínimos y no debe haber movimiento adelante o a popa durante el arrastre. Los hidrógrafos que usan este método deben tener cuidado con los descuidos, al dejar los espacios en la banda barrida y de ángulos excesivos en el cable.

2.3.20.3 La situación óptima para un barrido con una sola nave es:

- El naufragio debe examinarse apropiadamente primero por el ecosonda;

- Una boya marcadora debe ponerse aproximadamente una anchura del barrido a la marea del naufragio;

- El ángulo del barrido debe ser menor a 20°;

- No usar mecanismos, o sea direccionadores;

- Debe mantenerse una tensión constante durante el barrido.

2.3.20.4 Barrido con dos Buques. El procedimiento es similar al barrido de un buque. Las consideraciones son:

- Mayor camino de barrido que con el del barrido de un buque (de 100 a120m. máximo);

- Necesidad de saber la posición del bastidor del buque;

- Se necesitan buques con buena maniobrabilidad;

- Los buques deben detenerse y direccionarse;

- Hundimiento (cable fuera del agua) levantamiento (tensión del cable);

- Mayor tendencia de los buques a rolar

- Los buques tirarán lentamente.

2.3.20.5 Los factores de precisión incluyen:

- El ángulo de barrido es causado por el movimiento a través del agua y la tensión puesta en el barrido del cable y debe ser mantenido al mínimo;

- El hundimiento del cable es afectado por el peso del mismo y del ancho del barrido;

- Mayor tendencia de los buques a rolar, por lo tanto menor precisión que con el método con de barrido con un solo buque.

2.3.20.6 Barrido Suelto o de Dragado.

2.3.20.7 Los factores de precisión son:

- El hundimiento tiende a desaparecer debido al levantamiento del cable durante el movimiento en el agua;

- Una tensión variable del cable y de la velocidad de dragado, dan como resultado un ángulo incierto en el barrido.

2.3.20.8 El direccionamiento y el barrido de dragado se discuten en detalle en el “Admiralty Manual of Hydrographic Surveying", Volumen 2, UK Hydrographic Office, 1969.

2.4 Registro del Sonar de Barrido Lateral

2.4.1.1 Esta sección resalta los registros asociados con el SSS. El hidrógrafo debe ser escrupuloso al confirmas que no hay inconsistencias entre cualquiera de los registros.

2.4.1.2 Los archivos de puente variarán de nave a nave dependiendo del tipo de equipo de registro de datos en uso y de las preferencias del hidrógrafo. Sin embargo, se recomienda que la información siguiente deba estar disponible para el interpretador del sonar:

- Fecha y hora;
- Velocidad en uso;
- Rumbo base y rumbo en uso;
- Punta de la nave;
- Fondo al cable
- Comentarios, incluyendo el estado del mar.

2.4.1.3 Libro de Contactos del sonar. Este es el registro oficial para todos los contactos del sonar. Donde sea necesario, debe contener lo siguiente para cada registro evaluado:

- El número del rollo del ecograma y el rollo del eco asociado (o los equivalente digitales);
- Fechas y horas;
- Número de contacto;
- Detalles de la posición;
- Babor o estribor;
- Rango de inclinación;
- Layback;
- Altura del domo sobre el fondo marino;
- Evaluación de contacto, es decir, la sombra, la comunicación de cruce, la intensidad, clasificación inicial;
- Acciones adicionales requeridas o sea, investigar, interlinear, vista rápida, no más acciones (NFA) etc.;
- Acción completa con la clasificación final y la referencia para los registros del naufragio asociado si son apropiadas.

2.4.1.4 El sonograma (si es aplicable) debe marcarse simultáneamente con el rastro del ecosonda y debe llevar un título comprensible. Debe recordarse que el libro de la cabina y el sonograma pueden separarse, y es digno de incluir suficiente información en el sonograma que permita su análisis y confirmación por si solo para propósitos de verificación.

2.4.2 Registro de naufragios

2.4.2.1 El proceso exacto de registro de los naufragios es una tarea que consume tiempo. El establecimiento de un procedimiento a prueba de errores en el principio salvará de confusiones o de errores posteriores. La posición y detalles de naufragios individuales pueden aparecer en varios documentos y se necesita gran cuidado para asegurar que estos registros son consistentes y correctos.

2.4.2.2 El hidrógrafo debe asegurar que las siguientes actividades se cumplan:

- Los registros de trabajo sean anotados y sistemáticamente guardados;
- Todos los contactos son investigados y se examinados de una manera ordenada;
- Los reportes de los naufragios son completados donde sea necesario;
- Todos los naufragios sean delineados en los registros de trabajo y en los evidentes;
- Todas las posiciones y detalles sean consistentes.

2.4.2.3 Los datos del naufragio pueden aparecer en los siguientes registros evidentes:

- Hoja evidente (o el equivalente digital) a su finalización;
- Delineo del trazado del sonar;
- Morfología del trazado del fondo marino;
- Anotaciones de las trazos del barrido lateral y del ecosonda (o los equivalente digitales o sea, los contactos menores);
- El Informe del Levantamiento.

2.4.2.4 Exactitud en la Posición de los Naufragio. La posición de un naufragio en todos los registros debe ser consistente. El siguiente procedimiento es recomendado:

- Seleccionar el mejor ecosonda "*on top*"; determinar las lecturas de la navegación para esa posición, o de un *on top* de fix o de la zona le levantamiento del naufragio y convertir esto a la latitud y longitud para proporcionar la posición maestra;
- Grabar la posición tomada durante la mejor ecosonda "*on top*";
- Delinear la posición maestra o la zona de trazado, la zona contacto del sonar, la textura del suelo marino y el registro de sondeo (como sea apropiado);
- Grabar la posición maestra en el Informe de Levantamiento.

2.4.2.5 La Hoja de evidente debe mostrar la posición y la menor profundidad de cada naufragio localizado. Si no ha sido posible examinarlo totalmente, un círculo rojo indicando peligro debe insertarse con la leyenda "Wk (NFS)" - es decir, no estudiado completamente. Es importante señalar que ninguna profundidad debe insertarse en el círculo ya que puede prestarse a equivocaciones de ser tomada como la menor profundidad durante los procesos subsecuentes.

2.4.2.6 El trazado del sonar es para mostrar la posición de cada naufragio usando los símbolos apropiados contenidos en la carta INT 1.

2.4.2.7 Cada uno de los naufragios listados u obstrucciones será acompañado por los ejemplos representativos de los ecosondas y de los trazos del SSS ilustrando el objeto (imágenes de pantalla, si el ecosonda no tiene trazos de papel). Los trazos a ser anotados con la hora y fecha de las fix encerrando los accidentes, el rumbo de la nave y la velocidad en la superficie y, en el caso de los registros SSS, el rumbo verdadero de la embarcación y la distancia del domo del sonar desde la posición del fix. La menor profundidad obtenida o calculada también debe insertarse

2.4.2.8 Se debe mostrar tanto detalle como sea posible y se debe incluir lo siguiente:

- Posición del naufragio localizado, junto con el dato horizontal del levantamiento;
- El fix obtenido debe indicar qué correcciones fueron aplicadas;
- La posición en que el naufragio fue localizado, junto con el datum horizontal del levantamiento;
- Fix obtenido – esto es para indicar que correcciones fueron hechas;
- La menor profundidad registrada, como fue obtenida y si el hidrógrafo considera que es definitiva - si la profundidad en la carta es diferente el hidrógrafo debe expresar su punto de vista acerca de la razón para esa diferencia, si la altura del naufragio ha sido calculada trazos de SSS, debe declararse si es un promedio de las alturas obtenidas de direcciones opuestas;
- Las dimensiones aproximadas y orientación, junto con cualquier evidencia (Ej.: el informe del buzo) sobre la identidad y condición del naufragio;
- Detalles sobre la reducción de la marea usada;
- Los comentarios generales, especialmente con cualquier correlación con otros naufragios en su vecindad, o listados; la existencia y profundidad de barrido; las profundidades generales y naturaleza de fondo marino.

2.4.3 Registro de cobertura del sonar

2.4.3.1 Donde sea que el sonar sea usado durante un levantamiento, un trazado a la misma escala en la Hoja de evidente será preparado para mostrar los siguientes datos:

- El rastro del buque mientras de realiza la exploración con sonar,
- Límites del área explorada por el sonar,
- Límites de las áreas exploradas de cerca (el examen de los trazos necesita ser mostrado),
- Los números de posición y de identificación de todos los naufragios y obstrucciones localizados durante el levantamiento,
- Los números de posición y de identificación de todos los naufragios y accidentes listados en el Informe del Levantamiento.

2.4.3.2 Cuando un sonar de proyector se ha usado junto con el SSS, el trazado también debe incluir:

- Las áreas de ecos numerosos;
- Todos los contactos seguros y la dirección en que ellos fueron obtenidos (no deben mostrarse los contactos efímeros);
- La clasificación y calidad de estos contactos y si fueron examinados.

2.4.3.3 Todas las posiciones de contactos y naufragios deben ser verificadas cuidadosamente con otros trazados formas y reportes. Los símbolos siguientes serán usados en los trazados del sonar:

Un naufragio -	Wk
Un naufragio, no inspeccionado totalmente –	Wk (NFS)
Un posible naufragio –	Wk (U) (ver nota)
El fondo marino -	B
Un contacto bueno de fondo marino -	g
Un contacto evidente de fondo marino -	f
Un naufragio barrido -	|<u>Wk</u> |

Nota: donde no ha sido posible confirmar la identidad de un contacto como un naufragio, pero si hay fuertes motivos para clasificarlo como “posible naufragio”, la calificación adicional de “(U)” (por examinar) debe usarse para indicar un examen inconcluso. “(U)”, también debe usarse cuando un contacto no se ha examinado en absoluto. La clasificación de "Wk (U)" deberá dar resultado a un informe de naufragios.

2.4.3.4 El rastro de la embarcación y los fixes. Donde el rastro del buque para las operaciones del sonar difiere de aquéllas del sondeo principal, suficientes fixes serán identificados y anotados en el registro, y deberá ser abreviados excepto para los extremos de línea.

2.4.3.5 Límites del área explorada. La línea verde para SSS, la línea roja para el sonar de proyector; y contorno azul para las áreas de búsqueda intensiva (con el resultado en el manuscrito, o referencia a otro registro).

2.4.3.6 Listas de naufragios. El símbolo para los naufragios no peligrosos en negro identificado con el número de Lista de Naufragios.

2.4.3.7 Naufragios localizados. Círculo negro de 5 mm de diámetro.

2.4.3.8 Cuando solamente se ha usado el sonar de proyector los trazado son para acercar el área entera del levantamiento (idealmente cubierta en la escala más grande de la carta o mapa topográfico que cubre el área). Esto es para mostrar los límites del área barrida por el sonar de proyector, y puede ser combinada con cualquier otro trazado, proporcionando la claridad pueden ser mantenidos. Esta información es usada por la autoridad hidrográfica para asignar los atributos de calidad de datos.

2.4.3.9 Los trazados del sonar son para llevar una guía clara y comprensiva de los símbolos usados. Además, los trazados SSS son para llevar una tabla que muestra las especificaciones de operación, incluyendo el rango de la escala, el modo (estudio o búsqueda), depresión del haz y altura promedio del domo.

2.4.3.10 Algunos de los datos requeridos anteriormente pueden ser combinados con otros trazados proporcionando que su inclusión no interfiera con la claridad del registro existente.

3. CLASIFICACIÓN DEL FONDO MARINO

3.1 Antecedentes

3.1.1 Hay tres requerimientos para la clasificación del fondo marino, es decir el cartografiado náutico, comercial/ambiental y militar

3.1.1.1 El Cartografiado Náutico. Un método para la clasificación relativamente simple se usa para el cartografiado náutico y los propósitos de navegación; se define como la determinación de la composición del fondo marino. Una lista de las clasificaciones está contenida en la Carta INT 1. El navegante necesita esta información:

- Decidir dónde anclar,
- Determinar el tipo de fondo y cuánto cable usar,
- Ayudar a evaluar la seguridad de un anclaje;
- Para proporcionar un chequeo adicional en la navegación.

3.1.1.2 Comercial y Ambiental. Una caracterización más detallada, normalmente se obtiene usando un software de procesado comercial y se utiliza para:

- Ingeniería de costa es decir, plataformas de petróleo fijas, faros y paredes de agua,
- La exploración minera,
- Pesca etc.

3.1.1.3 Militar. Una combinación de los cuatro tipos básicos de fondo marino con los datos detallados y específicos y sus atributos. Los usos militares dependen de esta información para:

- Las operaciones anfibias,
- Conteo de minas, es decir la selección de las áreas operativas para evitar aquellas de topología de fondo marino desfavorables.
- Operaciones submarinas y anti submarinas, Ej. Selección de áreas seguras para que los submarinos tomen el fondo marino;
- Desempeño acústico del sonar.

3.1.1.4 En el futuro, la información de las clasificación militar del fondo marino, probablemente será distribuida a la oficina principal y a las unidades operacionales en el formato de Capas Militares Adicionales (AML). Éstas pueden ser leídas en los sistemas de información geográficos integrados y en los sistemas de comando de toma de decisiones tácticas.

3.1.2 Modelos de clasificación del fondo marino

3.1.2.1 Normalmente se presenta la información como un modelo de clasificación del fondo marino, ejemplos de estos están en la Figura 4.8. Los datos pueden obtenerse de los SBES, MBES, SSS y muestreo actual, y es presentada como una mezcla de símbolos y palabras. Como con todos los registros evidentes la información debe ser delineada precisa y claramente.

3.1.2.2 La siguiente información será mostrada en los modelos para la Clasificación del fondo marino:

- La naturaleza de las muestras del fondo marino;
- La textura del fondo marino desde el eco sonda, SSS, etc.
- Los contactos y accidentes del fondo marino (es decir, naufragios, ondas de arena, red barredera);
- Los contornos de profundidad.

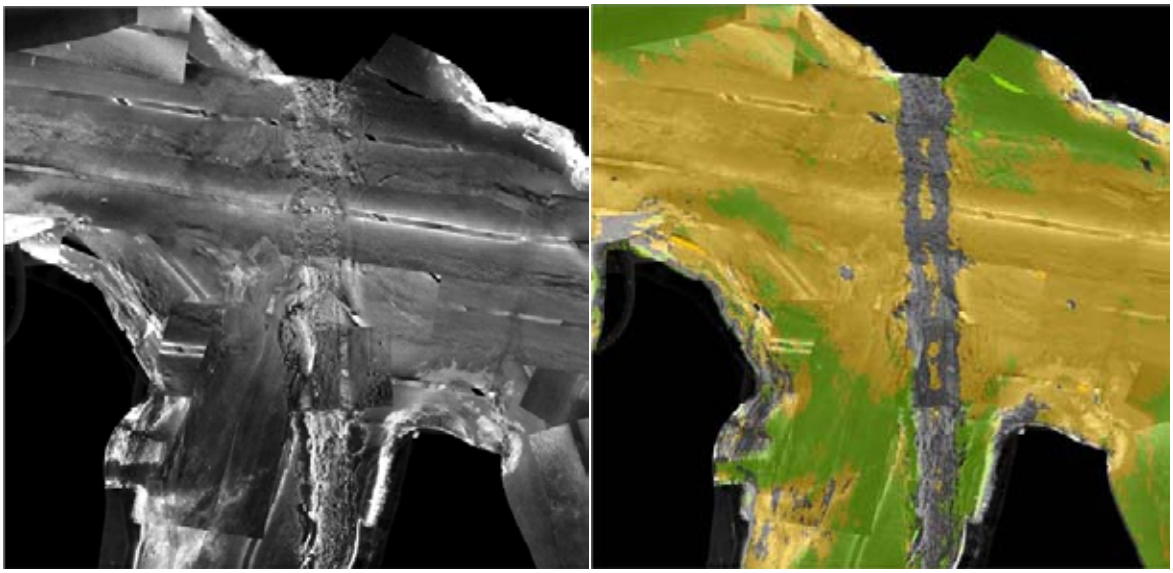


Fig. 4.8 "Ejemplos del mosaico del Sonar de Barrido Lateral y de los modelos de clasificación "(usando el software QinetiQ "classiphi")

3.1.2.3 Ejemplos de Registros del Sonar. Los problemas para identificar los naufragios en registros de sonar son bien conocidos por los hidrógrafos y no necesitan ninguna explicación extensa. Los ejemplos de registros del sonar para las comparaciones de clasificación del fondo marino pueden ser encontradas en "Sonographs of the Seafloor" por Belderson, Kenyon, Stride y Stubbs.

3.1.3 Muestras del fondo marino

3.1.3.1 La naturaleza del fondo marino será obtenida en las profundidades menores de 200 m como sigue:

- Para ayudar a la interpretación de cualquier registro SSS;

- Para proporcionar la veracidad y confirmación de la clasificación de los modelos de fondo marino;

- En todos los anclajes posibles;

- En todos los bancos, bajos y montes marinos, particularmente cuando es probable que éstos sean inestables y con canales entre ellos;

- En la cúspide y en la base de los montes marinos, en las profundidades mayores a 200 m, cuando las profundidades no son extremas y los métodos de muestreo apropiados están disponibles.

3.1.3.2 Adicionalmente, la naturaleza del fondo marino será obtenida en intervalos regulares a través del suelo de levantamiento. La frecuencia del muestreo puede variar, dependiendo de la profundidad y al punto que es homogéneo, con las muestras obtenidas en intervalos de entre 1.0 y 1.7 km en profundidades menores a 200 m.

3.1.3.3 La naturaleza del fondo marino obtenida de las muestras será incluida en el modelo de clasificación. La correlación entre las muestras y la textura derivada del registro del sonar es muy importante; proporciona el único chequeo de confianza real en la interpretación. Posteriormente esas muestras del fondo marino deben cumplir con tres condiciones, es decir, deben ser:

- Una muestra completa – los muestreos en el camino son conocidos por perder muchas de las más finas porciones de la muestra a medida que son recolectadas;

- Desde un punto individual – los muestreos en el camino pueden ser dragados por varios cientos de metros y no pueden dar una muestra puntual;

- Posición con precisión – los muestreos deben ser fijadas a la misma exactitud de cualquier elemento de la información del levantamiento, con el fix tomado a medida que las muestras golpean el fondo marino.

3.1.3.4 Para cumplir con los requerimientos anteriores las muestras deben ser tomadas por agarre o por extractor con la nave detenida y el fix obtenido por la principal ayuda de la navegación del levantamiento (o una de exactitud comparable). Su posición en el modelo de clasificación se muestra por un punto pequeño rodeado por un círculo, con la clasificación posicionada al lado de él.

3.1.4 Naturaleza del fondo marino

3.1.4.1 El fondo marino esta formado por rocas de varios tipos colocados en muchos lugares por sedimentos sin consolidar de dos fuentes principales:

- Los materiales lavados por las masas de la tierra adyacente o de la erosión del propio fondo marino;

- Sedimentos biológicamente producidos que están formados de los productos decadentes animales o vegetales con bases oceánicas.

3.1.5 Clasificación de muestras

3.1.5.1 La clasificación ocasiona la descripción de una muestra bajo dos títulos principales:

- Un adjetivo descriptivo, como “áspero”, “pequeño”, etc.;

- Una descripción general, como “Roca”, “Lodo”, etc.

3.1.5.2 Muestras mixtas. La mayoría de los sedimentos naturales son raramente compuestos de un sólo tipo de sedimento, son a menudo mezclas. Cuando esto ocurre, la clasificación debe primero seguir el principio de listar el material más predominante primero, por ejemplo el "*fSbkSh*" indica que hay más arena en la muestra que conchas.

3.1.5.3 Tamaño del grado y calificación: Los sedimentos se califican de acuerdo al tamaño del grano en la tabla 4.5.

Descripción General	**Nombre**		**Limites (mm)**	**Comentarios**
Lodo	*M*	Arcilla	< 0.002	Cuando se secan a mano, no se quitan fácilmente
		Fango	0.002 – 0.063	Cuando se secan a mano, se quitan fácilmente
Arena	*fS*	Arena muy fina	0.063 – 0.125	
		Arena fina	0.125 – 0.250	
	mS	Arena media	0.250 – 0.50	
	cS	Arena áspera	0.5 – 1.0	
		Arena muy áspera	1.0 – 2.0	
Grava	*smG*	Gránulos	2.0 – 4.0	De gruesos como un lápiz y del tamaño de un guisante
	P	Piedras de grava	4.0 – 64.0	Guisante pequeño al tamaño de un puño cerrado.
	lG	Piedra de canto rodado	64.0 – 256.0	De un puño cerrado a una cabeza humana.
Roca	*R*	Piedra de peñón	> 256.0	Más grandes que una cabeza humana.
		Rocas		

Tabla 4.5 “Tamaño del grano de sedimento”
(Tomado del UKIHO hydrographic Quality Assurance Instructions for Admiralty Surveys)

3.1.5.4 El tamaño de un grano puede ser determinado a simple vista o por la comparación con las muestras estándar ilustradas en un “disco de comparación”, si los tiene. Los sedimentos más finos son los más difíciles de clasificar. Si el tamaño no puede ser clasificado a simple vista o por la comparación, la muestra puede ponerse entre los dientes. Si se siente arenoso entonces es cieno; si se siente liso y suave en la textura entonces es de arcilla. Es sumamente difícil estimar los porcentajes relativos cuando las muestras contienen arena, cieno y arcilla.

3.1.5.5 Las rocas. Una muestra solamente debe ser clasificada como “Roca” si la evidencia disponible es positiva. Si la única evidencia que tiene al colector es una marca o abolladura o una muestra dañada, la abreviación que debe usarse es "h" (duro).

3.1.5.6 Otras Descripciones. Cuando cualidades adicionales pueden identificarse o cuando el tipo de fondo marino puede ser clasificado positivamente como que contiene otro material distinto, varias referencias deben consultarse para guiarse.

3.1.6 Métodos para obtener las muestras del fondo marino

3.1.6.1 Las muestras del fondo marino pueden ser obtenidas por una variedad de medios, los más comunes son:

- Escandallos
- Cangilón
- Extractor de almeja y cucharones
- Toma testigos
- Draga
- Buzos
- Operación de vehículos remotos (ROV) y sumergibles;
- Muestreo basado en la oportunidad (Ej.: desde las anclas)

3.1.6.2 La selección y uso del dispositivo apropiado dependerán de la naturaleza de la investigación, la característica del fondo marino, la profundidad de agua, y del equipo disponible a bordo para bajar y recuperar el equipo de muestras.

3.1.6.3 Punteros de sondeo. El escandallo armado es un método tradicional para obtener e indicar la naturaleza de la capa delgada de la superficie del fondo marino. Pero no puede dar una idea de la profundidad de esa capa de la superficie. Los escandallos están armados con un cebo o una sustancia similarmente pegajosa como petróleo o grasa, a las que las partículas de sedimento se adhieren. Cuando en el fondo marino está esparcidos de objetos más grandes como las piedras de grava o roca, una impresión del material del fondo puede obtenerse pero esto no puede garantizarse.

3.1.6.4 Las ventajas del escandallo es su bajo costo y su fácil operación. Las desventajas son:

- El material más grande no puede ser detectado (por ejemplo los peñones),
- Sólo la capa de la superficie es explorada,
- A mayor profundidad las muestras de vuelven más in confiables,
- La muestra se contamina por el material usado para armarlo;
- La muestra se perturba cuando se captura.

3.1.6.5 Cangilón, extractor de almeja y cucharones. Éstos se proporcionan con el propósito de colectar muestras de tamaño medio en la superficie y en la capa inmediatamente subsiguiente del fondo marino. Ellos normalmente comprenden un cubo o pala que se activa al chocar con el fondo marino. Algunos tienen dispositivos de resortes, otros se cierran cuando se levantan del fondo marino. Los cangilones son raramente convenientes para

explorar el barro suave o líquido ya que la muestra se lava a menudo fuera del cubo antes de que alcance la superficie.

3.1.6.6 Cangilón Shipek . El cangilón Shipek, esta compuesto de dos medio cilindros concéntricos; el medio cilindro interno o cubo de muestra se mantiene abierto contra un par de resortes axiales poderosos en un trinquete. Al golpear el fondo marino se desliza con peso sobre el trinquete y permite al cubo girar a través de 180° bajo el torque de los resortes. Durante esta rotación el cubo toma una muestra del fondo marino. El cubo permanece cerrado entonces mientras el cangilón es llevado a la superficie. El cangilón Shipek es más efectivo en sedimentos suaves e in consolidados. Es posible balancearlo en un fondo marino compacto y la acción de cierre del cubo puede levantar el cangilón del fondo dando sólo una muestra superficial o ninguna. En estas condiciones los resultados mejorados pueden ser obtenidos algunas veces al reducir la velocidad de impacto del cangilón en el fondo marino.

3.1.6.7 Toma testigos. Estos se usan para obtener una muestra vertical sin disturbios del fondo marino. Ellos penetran a menudo una distancia considerable bajo la superficie del fondo marino. Los toma testigos normalmente están compuestos de un tubo o un mecanismo en forma de caja similar a un descorazonador de manzana o a un cortador de dulce. Estos son llevados al fondo marino y cuando se halan mantienen una muestra sin disturbios de las capas del sedimento.

3.1.6.8 Los mecanismos de retención varían desde los que crean un vacío en la parte de atrás de la muestra hasta los que cubren el plato o los obturadores. Normalmente existe una combinación de métodos para sostener la muestra en el lugar. Los toma testigos pueden ser llevados a penetrar en el fondo marino por varios medios: su propio peso, explosivos, o por vibración mecánica o neumática.

3.1.6.9 Dragas. Las dragas están diseñadas para ser arrastradas a lo largo del fondo marino para colectar material suelto y sedimento. Ellos incorporan a menudo un filtro que permite que los sedimentos más pequeños puedan atravesarlo. Las muestras siempre se perturbadas pero reflejan los materiales del fondo marino en la superficie de un área bastante grande. Las dragas pueden desplegarse en todas las profundidades del agua.

3.1.6.10 Otros métodos de muestreo

Buzos. Una inspección por buzos permite una identificación positiva del fondo marino. Tanto para identificar accidentes grandes como pequeños. Los buzos están limitados por la profundidad a la que ellos pueden trabajar, pero para aguas poco profundas y con suficiente tiempo, éste es un buen método para obtener muestras.

Vehículos sub marinos no manejados por el hombre (UUV). Los equipos UUV operados a control remoto pueden ayudar a clasificar el fondo marino recolectando las muestras (normalmente utilizando paletas grandes o dragas) u obteniendo las imágenes de video para una inspección posterior. Los UUV están siendo incorporados cada vez más a las SBES, MBES y SSS y pueden ser empleados para adquirir la misma datos de las de las embarcaciones de superficie.

Muestreo en base a las Oportunidades. Las muestras útiles también pueden obtenerse de los cables de la embarcación, anclas o amarres de boya. Estas muestras deben usarse con cautela ya que es probable que sólo las muestras de una naturaleza pegajosa sobrevivan a la acción del lavado del equipo al llevarlos a la superficie.

3.1.7 Registros de muestras del fondo marino

3.1.7.1 Registro de muestras del fondo marino. La datos deben formatearse para complementar la informacion en forma relevante, de tal manera que esté prontamente disponible para las autoridades interesadas. El Informe del levantamiento debe contener los detalles de los métodos de muestreo empleados durante un levantamiento junto con cualquier problema que pudo haberse presentado.

3.1.7.2 La ubicación y la clasificación de las muestras del fondo marino obtenidas debe ser mostrada en un trazado o modelo digital que acompañen los datos batimétricos.

3.2 Clasificación de los sensores

3.2.1 Esta sección describe varios sensores usados para la clasificación del fondo marino.

3.2.1.1 Sonar de barrido lateral. Además de localizar naufragios y obstrucciones entre las líneas del levantamiento, el SSS proporciona también una cantidad considerable de otra información sobre el fondo marino. Estos datos, cuando se combinan con las muestras del fondo marino y los contornos de la profundidad para producir los modelos de clasificación del fondo marino, son de gran valor. La importancia de esta información ha crecido durante los años, a tal magnitud que, en muchos levantamientos, las consideraciones del sonar (y no las batimétricas) gobiernan la selección de la dirección y espaciado de la línea. Un gran cuidado se necesita en la preparación y verificación de estos trazados si su contenido en pleno es comprendido.

3.2.1.2 Ecosondas Multihaz. La incursión de sistemas MBES en los levantamientos hidrográficos no sólo ha significado la habilidad de determinar la batimetría con más precisión y con mayor cobertura que antes, sino que también la habilidad para determinar los límites del fondo marino y de los tipos de sedimento relativamente más rápido y eficaz. Con esta perspectiva, el hidrógrafo puede ahora capaz de interpretar la imagen del dispersor desde los sistemas de banda así como de los registros del sonar de barrido lateral. El beneficio agregado para obtener la información del dispersor desde un MBES, mientras recolecta la datos batimétrica, permite conducir un levantamiento de mejores costos (y tiempo).

3.2.1.3 Ecosonda de haz simple. Los software comerciales de clasificación del fondo marino que se pueden ajustar al SBES han estado disponibles durante varios años. Usados particularmente en la industria de la pesca, un sistema típico se describirá después.

3.2.1.4 Otros Métodos. Otros sensores con el potencial de clasificar el fondo marino incluyen:

- Batimetría Aerotransportada con Láser. La exploración continúa a la extracción de información que no sea batimétrica desde la onda de retorno del láser incluyendo la turbidez y la clasificación del fondo marino.

- Batimetría Electromagnética Aerotransportada. Los métodos AEMB ofrecen un potencial para obtener información sobre la clasificación del fondo marino, pero aun ésta capacidad tiene que ser desarrollada.

- Sensores Remotos. La clasificación del fondo marino puede obtenerse de las imágenes de satélite y aéreas en las aguas poco profundas pero todavía requiere de datos verdaderos del suelo.

- Los sonares de búsqueda avanzada (FLS). Originalmente fueron diseñados específicamente para la navegación y evitar colisiones, algunos desarrollos recientes del FLS, ofrecen capacidades batimétricas y de clasificación del fondo marino. Por ejemplo, el sistema FLS Thales Underwater "Petrel" une la energía acústica recibida con los niveles de ruido ambiental y el ángulo del haz de incidencia en el fondo marino para proporcionar una figura de reverberación del fondo marino de importancia, que será único para las variantes de densidad de materiales y de porosidad del fondo marino. Al comprobar en la tierra estas "figuras de importancia" una capacidad de clasificación del fondo marino de banda de tiempo real está disponible paralelamente con la batimetría.

3.3 Clasificación - Teoría

3.3.1 Esta sección introduce la colección e interpretación de la información del dispersor y compara los métodos usados por el MBES y el SSS. Se discuten las ventajas y desventajas de cada uno. También trata los métodos que el MBES usa para quitar los efectos de distorsión debido al ángulo en el que la señal llega al fondo marino y otras causas.

3.3.1.1 El SSS y la mayoría de los MBES, pueden desplegar una representación del fondo marino que usa el principio de imagen acústica. La mayoría de las fotos de los SSS muestran representaciones relativamente sofisticadas del pulso de retorno en el sentido de que la imagen es solamente corregida para un rango limitado de parámetros medibles. Por ejemplo, los SSS modernos tienen a menudo la habilidad para medir la velocidad de dirección del buque y ajustarse a lo largo del eje de la imagen para que la escala en esta dirección iguale a la escala a través de la huella. También, ellos pueden medir la altura del domo sobre el fondo marino, y quita esta sección de la imagen, para que la imagen empiece en el suelo abajo del domo y cubre el fondo marino en el rango máximo del grupo. La imagen puede corregirse para que la distancia en la imagen iguale a la distancia del fondo marino, sin embargo esto es normalmente logrado haciendo la suposición de que el fondo marino está nivelado. Ya que esté no es el caso, de hecho, habrá distorsiones en la imagen del SSS.

3.3.1.2 Por otro lado, la provisión de información del dispersor es un producto de la captura de datos batimétricos para un MBES. Es semejante al rendimiento del SSS y produce una representación del fondo marino, en lo que respecta a la intensidad del eco de retorno. La diferencia significativa entre los dos es que el MBES está midiendo la profundidad concurrentemente con la información del dispersor, y esto permite un nivel más sofisticado de despliegue. Los datos en la profundidad, cuando se combinan con el ángulo del haz, efectivamente entregan la posición del fondo marino a la que se relaciona la información del dispersor y por consiguiente proporciona una corrección geométrica verdadera de la imagen del dispersor.

3.3.2 Imagen del dispersor

3.3.2.1 El resultado de las imágenes del MBES de imágenes del barrido lateral basado en la información del dispersor es un mosaico que cubre el fondo marino que despliega la intensidad del dispersor igualándolo a cada punto en el fondo marino. Hay normalmente una habilidad de combinar el dispersor y la información de profundidad para que ellos sean co-registrados por la posición. Asumiendo que las líneas se han corrido apropiadamente, las imágenes deben proporcionar 100% de cobertura y puede ser que la información del dispersor cubra más que la batimetría si se han invalidado los haces por razones de exactitud. Es probable que la información extra del dispersor no sea usada ya que no tiene la información de profundidad asociada con él, pero permanece disponible tal cual.

3.3.2.2 Cierta actividad en post-proceso se habrá llevado a cabo para normalizar la imagen del dispersor para quitar los efectos de distorsión en el retorno de la señal original. Las correcciones dependerán del rango (para corregir la atenuación y extensión del haz), el poder de la fuente (qué deben grabarse con la información del eco), y la dirección del haz – para transmitir o recibir, si esto varía con el tiempo. Adicionalmente habrá correcciones a ser aplicadas que dependen del recorrido de la señal y del área que es sondeada. Éstas son las correcciones para el ángulo del haz, el recorrido del rayo y la inclinación del fondo marino local todos pueden ser combinados en la incidencia del ángulo en la que la señal llega al fondo marino. La figura 4.9 muestra ejemplos de la fuerza del dispersor para los diferentes tipos de fondos marinos en diferentes ángulos de inclinación.

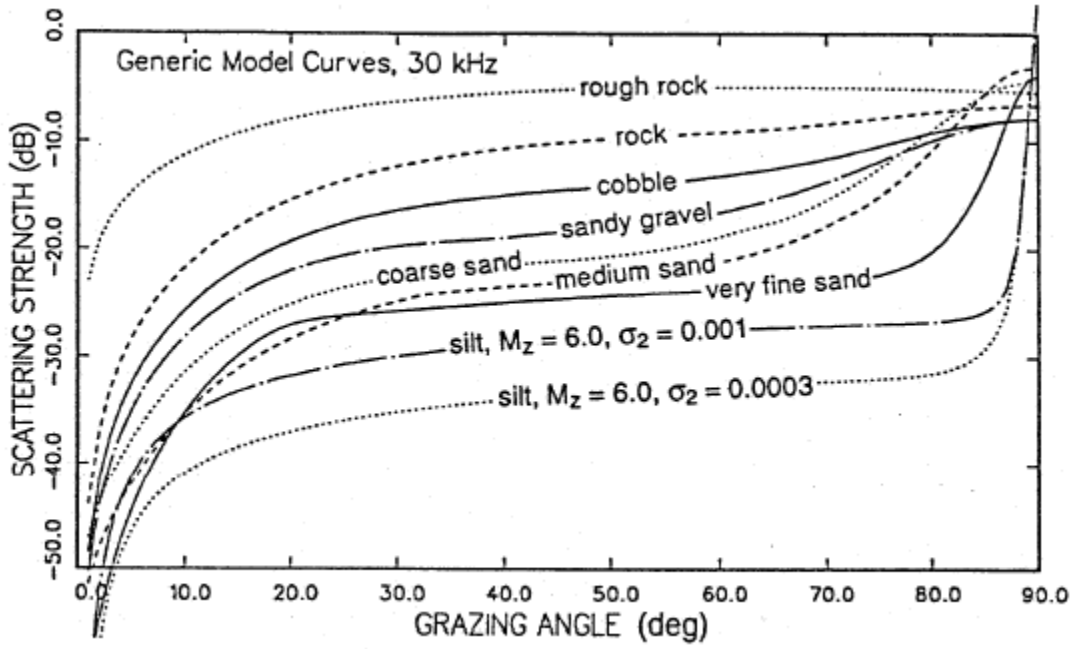


Fig. 4.9 "Ejemplos de la fuerza del dispersor"
(Tomado del "High Frequency Ocean Environmental Acoustic Models Handbook", Octubre 1994)

3.3.3 Registros de Barrido Lateral

3.3.3.1 La corrección de la imagen por posición es llamada registro del sonar de barrido lateral (ya que el término barrido lateral es comúnmente usado con el sistema MBES para referirse a la intensidad de imagen del dispersor). La corrección requerida se traduce entre el rango de inclinación dado por el tiempo de viaje y la posición verdadera del fondo marino, o por lo menos una distancia verdadera desde el punto bajo el transductor al parche del accidente del fondo marino.

3.3.3.2 Como se mencionó anteriormente, el método usado con las imágenes SSS tiende a ser bastante simple, pero, usando la información de profundidad extra disponible en los sistemas MBES, el conocimiento del perfil de velocidad del sonido y el comportamiento del buque en el punto de transmisión, el registro puede hacerse más exacto. Una gran parte del cálculo ya se ha llevado a cabo para producir las profundidades corregidas en la aplicación de la batimetría del ecosonda del MBES y algunas veces esa información puede tenerse disponible para la imagen del sonar de barrido lateral.

3.3.4 Mosaico

3.3.4.1 La transformación de la imagen de sonar de barrido lateral MBES en una imagen rastrera regular se llama mosaico. La imagen será corregida en su posición por el movimiento del buque; sin embargo, puede haber todavía algunos problemas con el procedimiento del mosaico. En algunos MBES, el pequeño tamaño de la huella en los haces centrales, pueden dejar espacios pequeños entre cada huella individual. El objetivo con la imagen del sonar de barrido lateral es producir una imagen rastrera que permita la comparación directa de un punto con otro y las separaciones en los datos pueden hacerlo difícil. Puede ser posible rellenar los espacios por la interpretación.

3.3.4.2 Si la cobertura excede el 100% y hay solapamiento de los datos, es probable que los datos hubieran sido recolectados en diferentes ángulos y diferentes direcciones de sondeo. En lugar de intentar combinar los datos, el datos de la haz preferido se acepta mientras que el otro haz se suprima. Inevitablemente habrá una discontinuidad dónde las dos bandas se unen, pero el método anterior minimiza la distorsión que esto causará. Hay varios métodos disponibles que pueden automáticamente escoger el haz preferido, por ejemplo da preferencia al medio haz encima del nadir y lejos del rango.

3.3.4.3 La interpretación de la imagen del dispersor dependerá por consiguiente del conocimiento de la información que el sistema mantenga, y su método para presentar los datos. Algunos sistemas tienen la habilidad de retener la información sobre la distribución de datos dentro del haz, tan detallada que es más pequeña que la huella del haz que aún puede verse. Otros métodos usan un grupo de datos reducido, reteniendo (por ejemplo) sólo el promedio de la intensidad máxima para cada haz, que proporciona menor detalle. La figure 4.10 muestra que la batimetría sola no proporciona la misma información sobre los cambios en el tipo de fondo marino como la imagen de mosaico del dispersor rastrero.

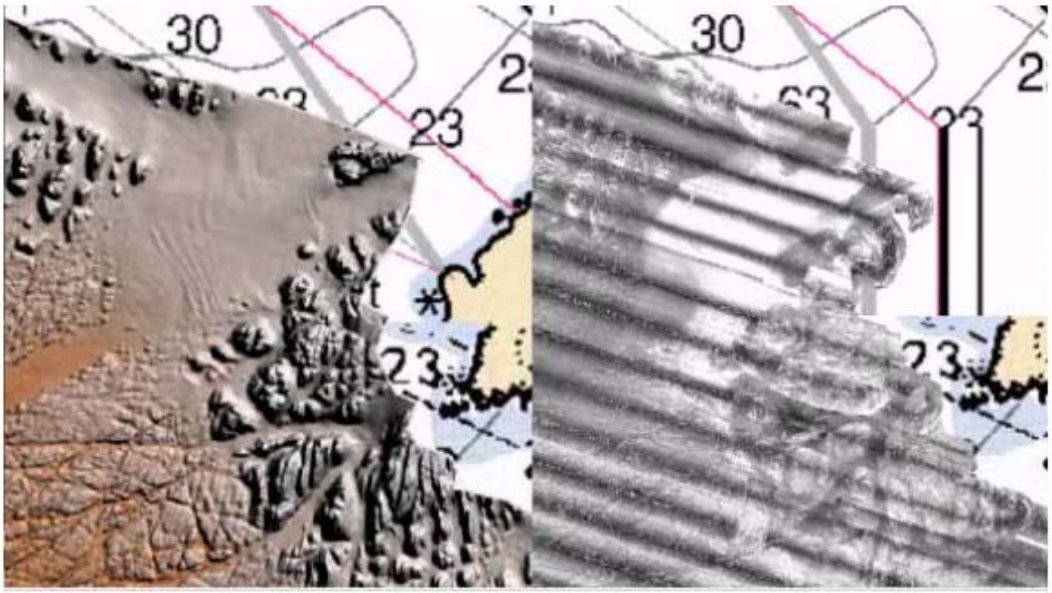


Fig.4.10 "Imágenes del fondo marino" - Batimetría (izquierda) vs. Imagen Rastrero de Mosaico (derecha)"

3.3.5 Clasificación - General

3.3.5.1 Hay complicaciones adicionales al intentar clasificar los tipos de fondo marino. Junto con la impedancia acústica hay otros rasgos del suelo marino que afectaran la forma y características del retorno. Si el fondo es escabroso, pero con el detalle más pequeño que la huella del haz, entonces esto tendrá influencia en la intensidad del retorno.

3.3.5.2 La única manera de permitir verdaderamente estos efectos diferentes, es teniendo un conocimiento total del fondo marino, de antemano y esto sólo es posible donde la fidelidad del fondo real (ej: con muestras del fondo marino) ha acontecido. Sin embargo, ciertos tipos de fondo marino tendrán características generales diferentes, por lo que los dispersores pueden ser usados para hacer la clasificación general. Si los retornos particulares son unidos con suelos verdaderos, entonces una "biblioteca" de clases del dispersores puede construirse, permitiendo la clasificación automática. Esta biblioteca puede ser tan compleja como sea requerido con áreas diferentes del gráfico del duro asignando las únicas clasificaciones. Existe un número de diferentes herramientas de software para este propósito aunque cada una probablemente tenga diferentes procedimientos y requerimientos para realizar su tarea.

3.3.5.3 La clasificación del fondo marino que usa la imagen acústica es un campo que se desarrolla rápidamente. Los descubrimientos iniciales fueron hechas con el uso de sistemas de incidencia vertical (SBES), dónde el método era estudiar todos los parámetros del eco de retorno, incluyendo la variación en la intensidad con el tiempo y la frecuencia de dispersión gráfica para proporcionar una indicación del tipo de fondo marino.

3.3.5.4 El requisito para la clasificación del fondo marino depende del uso final de la información. A cambio, los parámetros particulares que se usan para identificar un tipo del fondo marino particular pueden depender del requisito de la clasificación. Las características típicas que pueden medirse son el tipo de fondo marino con términos hidrográficos tradicionales, que clasificarían al fondo marino en términos del tamaño del grano, la textura y el tipo. Otras características pueden ser las propiedades físicas del fondo marino que pueden ser relevantes para, digamos, un estudio de la tubería, o las propiedades acústicas que puedan ser de interés para la minería, las operaciones militares, y oceanográficas. Éstas incluyen:

- El tipo de sedimento , O sea:
  - El tamaño de grano, la textura, es decir, la arena, cieno, arcilla y grava.
  - La mineralogía, es decir, la ceniza, cieno, sílice, carbonato,
  - Genético, es decir, biogénico, terrígeno,
- Las propiedades físicas, o sea, tamaño del grano, densidad, y porosidad;
- Las propiedades acústicas, o sea, las velocidades y la atenuación;
- Propiedades geotécnicas, o sea, los equilibrios de fuerza, elasticidad;
- La morfología, o la textura y composición.

3.3.5.5 Varios acercamientos han llevado al problema de la clasificación del fondo marino, enfocándose en las diferentes propiedades de la señales de retorno, y con las metodologías diferentes para lograr el resultado. Para lograr esta clasificación remota nosotros vimos los sistemas y modelos desarrollados para la interacción del sonido con el fondo marino y el efecto que esta interacción debe tener en la forma del pulso. Tal sistema adoptado para la clasificación del fondo marino usando el SBES es el RoxAnn, desarrollado por Marine Microsystems Ltd.

3.3.6 RoxAnn

3.3.6.1 El RoxAnn es uno de los varios sistemas comerciales para la clasificación del fondo marino, que se conectan, en este caso, a los ecosondas existentes (los sistemas de incidencia típicamente verticales) por medio de un “amplificador principal" que une la impedancia del sistema a la del ecosonda . El diseño fue basado en las observaciones del comportamiento del ecosonda en áreas conocidas en diferentes tipos de fondo marino. La clasificación del sedimento es lograda por la identificación de dos parámetros (ver Figura 4.11):

- E1 - la energía integrada bajo la cola del primer retorno, es decir, indica la aspereza;
- E2 - la energía integrada bajo el segundo (múltiple) retorno, indica la dureza,

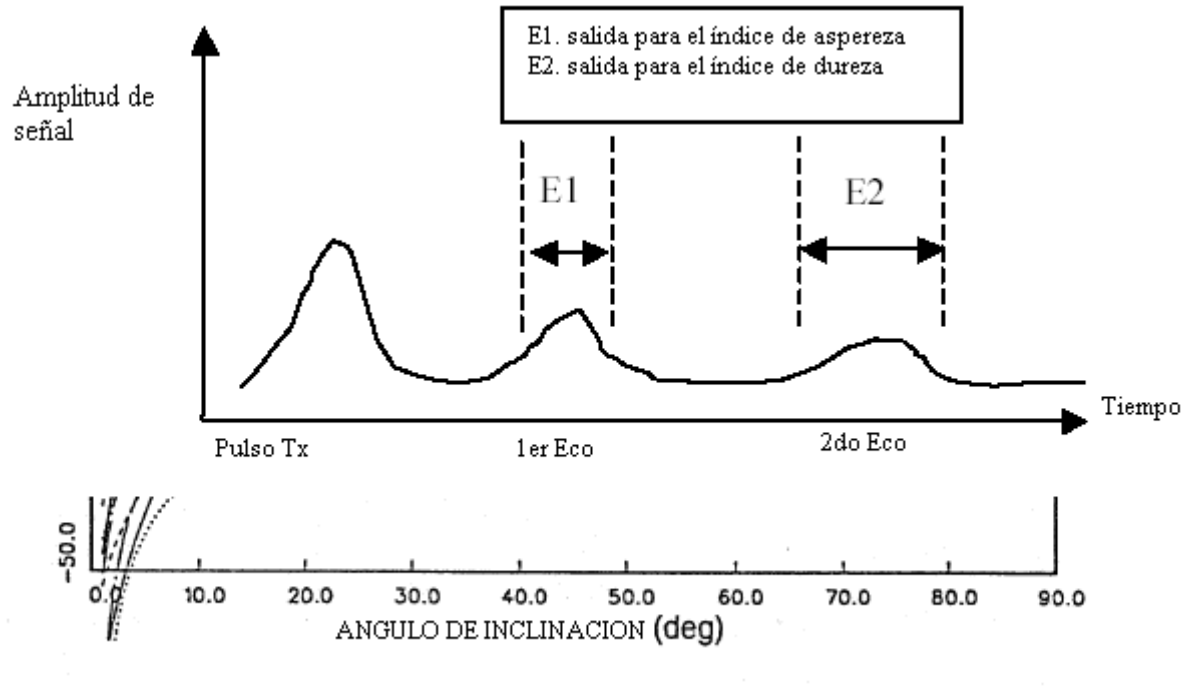


Fig. 4.11 “RoxAnn - La cuantificación de aspereza (E1) y de la dureza (E2)"

3.3.6.2 Luego, con el uso de una tabla look-up que graficará la dureza comparada con la aspereza, usted puede entrar con un valor observado que ha sido confirmado y calibrar el sistema para la clasificación automática en esa localidad. El sistema requiere la recalibración periódica y también requerirá una nueva calibración cada vez que se estudie una nueva área. La figura 4.12 muestra los valores de E1 y E2 delineadas, y entonces un tipo de fondo 'conocido' asignado.

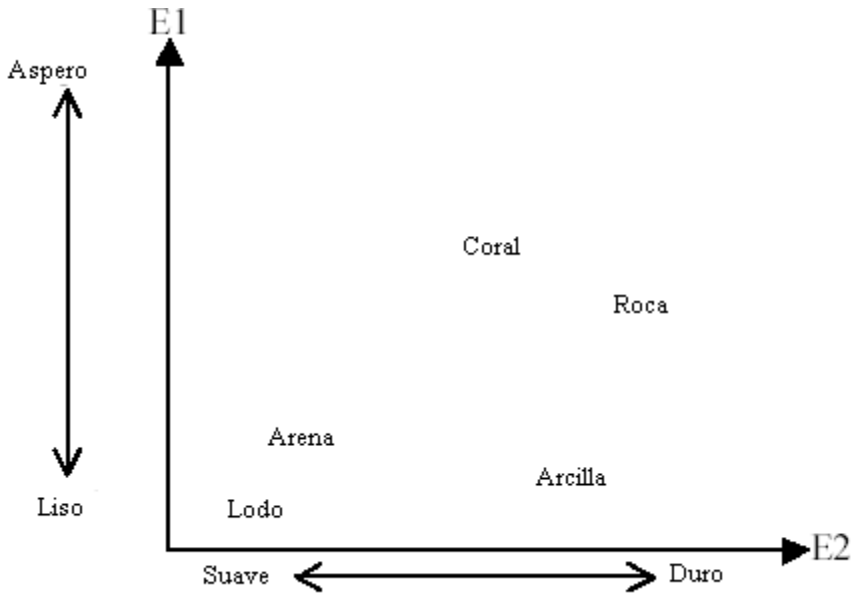


Fig.4.12 “RoxAnn - valores de E1 y E2 (solamente como ejemplo)"

3.3.6.3 Las ventajas de este sistema es que es relativamente simple y económico. Las desventajas son que el sistema no es cuantitativo, debe ser calibrado y depende de los múltiples retornos que cuestionan la variabilidad como una función del estado del mar.

3.3.7 Clasificación usando MBES

3.3.7.1 El MBES nos proporcionan medidas georeferenciadas de intensidad del dispersor instantáneo, y resalta los estimados de la elevación del fondo marino (el sondeo). Ambos pueden ser usados conjuntamente o separadamente, para determinar la clasificación del fondo marino usualmente junto a los paquetes de software comerciales diseñados para tal propósito. Para aquellos sistemas que son calibrados, o para los que por lo menos una calibración relativa puede realizarse, las medidas de intensidad del dispersor pueden reducirse de acuerdo a:

- El rango del accidente (la atenuación y la extensión esférica),
- La Fuente de poder, dirección del haz (transmitida y recibida);
- El área sondeada (el ángulo del haz, la trayectoria del rayo refractado, inclinación del fondo marino).

3.3.7.2 Hay tres métodos principales empleados el la clasificación del fondo marino por sonar de banda basado en la variabilidad en la estructura de eco para inferir la información sobre la naturaleza del fondo marino:

- Textura del trazado y la estimación de espectro;
- Función de probabilidad de densidad de la amplitud del pico del eco;
- Funciones de dependencia angular del dispersor acústico.

3.3.8 Mapa de textura

3.3.8.1 Este método mira la variación de la intensidad del dispersor como una función espacial en 2D (dimensiones horizontales). Está basado en la identificación de los cambios importantes en las características de los ecos dentro de un pulso y sobre un número de pulsos consecutivos. En esencia, es la estimación de las estadística espaciales en 2D de una imagen de amplitud de dispersor acústico del fondo marino.

3.3.8.2 Incluso en la ausencia de un sistema de sonar calibrado, es fácil ver que las características de textura de la imagen del SSS contienen la información sobre el fondo marino. La mayoría de los SSS primitivos se desarrollaron con el propósito de reconocer accidentes, en el que el propósito era usar todo el rango dinámico del equipo de despliegue, generalmente un registrador de papel húmedo o un monitor gráfico, para maximizar el contraste del eco de retorno. Para este propósito se desarrollaron los controles de ganancia automáticos. El lado perjudicial de este desarrollo era que, en la mayoría de los casos, el nivel absoluto de la intensidad del dispersor no era conservado. No obstante, tal técnica del proceso de señal fue ideal para sacar la información estructural de la imagen. Esto se ha logrado con la introducción de dos métodos:

- Poder del espectro;
- Matrices de co-ocurrencia del nivel gris.

3.3.9 Power Spectra

3.3.9.1 El dispersor acústico del fondo marino cambia bruscamente a funcion del $\cos^2$ del ángulo de incidencia (Ley de Lambert), sale para bajar los ángulos rozantes. Por consiguiente, puede asumirse que las variaciones en la amplitud de ecos del fondo marino recibidas por el sonar sobre este sector angular son expresiones de la aspereza inherente de la superficie del dispersor. Esto indicaría la posibilidad de clasificar estos retornos y de por lo tanto inferir los tipos del fondo marino, basado en su forma espectral.

3.3.9.2 Cuando se aplica a los MBES, este método debe ser limitado al segmento exterior de los haces del barrido, donde la dependencia angular de los niveles del dispersor acústico del fondo marino se reduce y donde la longitud del área de ensonificacion es relativamente constante al través de la trayectoria. En la región de incidencia vertical cercana, una combinacion de intensidad emitida por el sonar del casco, el repentino cambio del area de ensonificacion y la funcion de dependencia angular del dispersor acústico pone severas limitaciones al supuesto de que la forma del espectro se relaciona directamente al tipo de fondo marino.

3.3.9.3 Adicionalmente, debido a que las series de tiempo de la fuerza del dispersor obtenida con una configuración de MBES es realmente un compuesto de varias trazos del haz, existe la posibilidad de introducir energía en el espectro de poder en longitudes de ondas de espacio equivalente al espaciado del haz.

3.3.9.4 A medida que usted se mueva entre aguas poco profundas y más profundas, la longitud de los pulsos de muchos de los sistemas de guadaña de aguas poco profundos es variada. Esto cambia el área sondeada instantáneamente y las escalas de longitud que pueden observarse con los espectro de poder.

3.3.10 Matrices de co-ocurrencia de nivel de gris

3.3.10.1 Para identificar los límites de los patrones de textura parecidos en la imagen del sonar de barrido lateral, las técnicas de proceso de imagen clásica de las Matrices de Co-ocurrencia de niveles de gris (GLCM) es usada. Esta técnica caracteriza la interrelación bidimencional espacial de los niveles grises (donde la oscuridad del gris se refiere a la intensidad del dispersor) en una imagen con una escala que va desde la textura fina, correspondiendo a cambios de niveles frecuentes por encima de distancias cortas, hasta una textura gruesa que corresponde a pocos cambios de niveles por encima de las distancias largas. Las matrices del Co-ocurrencia son calculadas para un grupo de distancias y de relaciones espaciales angulares. Cada GLCM corresponderá a una textura diferente que puede interpretarse entonces como un tipo de fondo marino.

3.3.10.2 Una desventaja del método de GLCM es que debe ser implementado en un mosaico del sonar de barrido lateral, que es un producto del rastro. Como se discutió, el proceso del mosaico es un compromiso entre conservar la resolución de la trayectoria al través de la amplitud de la datos del dispersor y de destacar la resolución a lo largo. Así los mosaicos del sonar de barrido lateral normalmente son versiones promedio (o filtros de la mediana) de la intensidad de los datos brutos. Como tal, no pueden exhibir las mismas características estadísticas como los datos crudos originales. Por consiguiente, las características usadas para la clasificación sólo son aplicables a datos que han sufrido exactamente la misma transformación desde una serie de tiempo para el sonar de barrido lateral bruta a un producto del rastro. Además, algún forma de veracidad es requerida para identificar el tipo del fondo porque no hay ningún modelo que vincule el GLCM a las propiedades físicas de un fondo marino específico y de litologías diferentes (características del fondo marino) puede exhibir las mismas características de textura.

3.3.11 Función de probabilidad de densidad de la amplitud pico del eco

3.3.11.1 La Función de probabilidad de densidad de la amplitud pico del eco (PDF) dispersor acústico del fondo marino es un proceso de reverberación cuyo comportamiento estocástico (estadístico) pueden ser descritos a través de la distribución de las muestras cuadradas instantáneas de Gauss, con una envolvente (amplitud del eco) distribuida de acuerdo a la función de densidad de probabilidad Rice y a una fase de distribución de uniformidad. Recordando que los miembros finales del PDF Rice son de forma de Gauss cuando la señal de retorno es mayormente coherente y de una forma de Rayleigh cuando es más dispersa, es posible derivar una coherencia de medidas de las estadísticas del envolvente. La figura 4.13 muestra una comparación de las curvas estadísticas de Gauss y de Rayleigh, midiendo la probabilidad de amplitud de un eco.

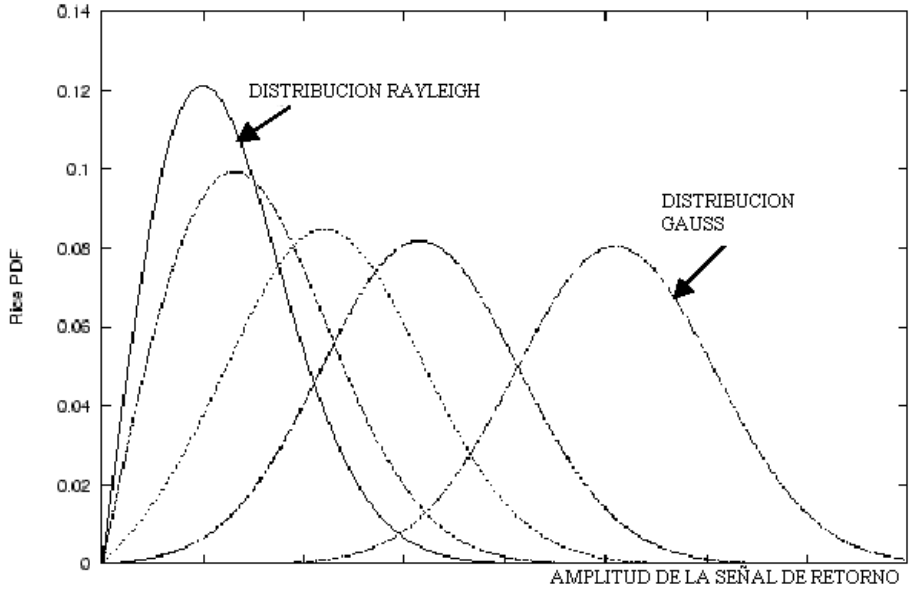


Fig. 4.13 "Comparación de las curvas de Rayleigh y Gauss"

3.3.11.2 La media y la varianza de los valores de la amplitud instantánea son cantidades dimensionales y esto implica que el sistema del sonar debe retener al menos los cambios relativos por lo menos en las amplitudes de los ecos del dispersor. Cualquier cambio en la fuente de poder y/o en los ajustes del receptor de ganancia pueden tomarse en cuenta (compensación para el control de ganancia automática). La amplitud de los datos durante la guadaña del dispersor (sonar de barrido lateral) presentado como una amplitud media es fácil de entender como una herramienta de la clasificación. Aproximadamente la amplitud media constante sobre una región sugiere un tipo de fondo marino homogéneo y los cambios grandes en la amplitud de la media sugieren cambios en el fondo marino. Sin embargo, las presentaciones de cambios regionales en la amplitud del dispersor del fondo marino generalmente ignoran, o tratan de normalizar empíricamente para los cambios en la geometría del sondeo (ángulos de roce) a través de la guadaña.

3.3.11.3 Esta preparación de los PDF observados contra los modelos estándar es hecha con PDFs de eco normalizados, entonces la media absoluta de la amplitud del dispersor es ignorada en el proceso. El método es de tratar de separar la proporción de los componentes coherentes e incoherentes de la datos. Con la datos desde un sistema de sonar calibrado, el paso normalizado puede ser omitido y las amplitudes absolutas usadas en su lugar.

3.3.12 Dependencia angular

3.3.12.1 Hay varios modelos que predicen la dependencia angular del dispersor acústico del fondo marino basados en varios factores (parámetros generadores). Éstos incluyen el contraste de impedancia del interfaz del sedimento y el agua; las estadísticas de la aspereza de esa interfaz; y cualquier contribución posible a la homogeneidad del volumen de las capas del sedimento. La cantidad de interés en este método es la fuerza del dispersor por unidad sólida (3D) en el ángulo. Esto se obtiene de la medida y comparado a las predicciones de modelo para estimar los parámetros generadores.

3.3.12.2 Los sistemas de alto aspecto de proporción como los MBES proporcionan medidas de la amplitud del dispersor en ángulos de roce que van desde 90°(Vertical) hasta ángulos de roce tan bajos como 15°. Esto es en contraste para la distribución de los ángulos de roce recuperados por el remolque de profundidades, proporción de bajos aspectos SSS, los cuales tienden a ser inclinados a ángulos mucho más bajos.

3.3.12.3 Junto con este método esta el requisito de saber la trayectoria del rayo de la energía acústica a medida que toca el fondo marino y la inclinación 3D de la interfase del fondo marino que éste toca. Esto lleva a asignar una medida instantánea de la amplitud del dispersor a ese ángulo. Para llegar a un buen estimado de la media de la fuerza del dispersor en el ángulo de roce, un número grande (>10) de medidas instantáneas es usado. Esto obviamente asume que el fondo marino bajo investigación no está cambiando con la longitud de la guadaña del MBES (o sea, el tipo de fondo marino es el mismo desde el nadir al rango lejano).

3.3.13 Interpretación de los datos acústicos por radiación

3.3.13.1 En la primera instancia, la interpretación de una imagen digital del sonar de barrido lateral es a menudo difícil. En los límites de resolución está la muestra simple instantánea de la intensidad del dispersor. Esto se deriva de una suma compleja de todas las contribuciones individuales del dispersor dentro del área sondeada, y también las contribuciones del dispersor en el volumen del sedimento debajo de esta área. A pesar de la solución derivada, hay tres efectos principales que son notables en cualquier mosaico del sonar de barrido lateral:

- Las variaciones en la fuerza del dispersor debido a los cambios del tipo de fondo marino;
- Las variaciones en la fuerza del dispersor debido a los cambios en la pendiente del fondo marino;

- Las sombras verdaderas

3.3.13.2 Para el SSS convencional las dos primeras son ambiguas. No hay ninguna manera de decir sin ambigüedad si las fluctuaciones son debidas a una pendiente o a la textura. En la realidad es raro ver un cambio significante en la inclinación del fondo marino sin un cambio en la textura. En contraste con el SSS convencional, los sistemas de sonar de guadaña pueden resolver las ambigüedades para estos casos donde la longitud de onda topográfica es mayor que el ancho del haz, aunque las asperezas de las longitudes de onda más cortas no pueden ser resueltas.

3.3.13.3 Verdaderas sombras pueden ser reconocidas por ambos sistemas a medida que la razón de la señal-ruido sea bastante alta- de este modo la caída de la fuerza de la señal es mayor que aquella esperada para cualquier tipo de sedimento real. Interesantemente, los sonares de la guadaña no pueden predecir la presencia de una sombra por la información topográfica solamente. Esto es porque una sombra implica pendientes más empinadas que el trayecto del rayo y así los sonares de la guadaña no pueden ver detrás del objeto sombreante. Esto es importante de recordar al usar los sectores angulares laterales. La topografía inclinada retirada del sonar no es adecuadamente resuelta y entonces el resultado derivado del modelo del terreno resultará distorsionado. Incluso con los sonares de la guadaña, no se tiene claro si las variaciones de la longitud de la onda en el dispersor del fondo marino son un resultado de cualquiera de los efectos anteriores. La única forma de solucionar esto es representar el fondo marino desde múltiples direcciones ortogonales cercanas.

3.3.13.4 Por encima de todo, el hidrógrafo se preocupa por verificar los peligros potenciales hidrográficos del fondo marino. Cualquier confirmación o rechazo de la validez de un sondeo anómalo, representa una ayuda en la interpretación de los datos. Esto permite mayor confianza en la calidad de los datos del sondeo que aparecerán en una carta náutica. Como lo hemos visto existen limitaciones de resolución en la imagen del MBES de gran velocidad, lo que significa que usted no puede siempre resolver las anomalías hidrográficas discretas que son de interés. Esto se presta a la discusión para desplegar el SSS convencional remolcarlo junto con un sistema de sonar de guadaña.

3.3.13.5 Cuando el haz alcanza el fondo marino, algunos de estos haces se reflejan de regreso en forma de eco, pero mucha de la energía se esparce en todas las direcciones, e incluso algunos se absorben en el fondo marino. En el caso de la incidencia vertical es afectada principalmente con las propiedades de la reflexión del fondo marino, y nuevamente, las características diferentes del haz del ecosonda tiene un efecto en la cantidad de la señal que se refleja. La frecuencia de la señal es uno del los atributos más importante en este respeto. Para el caso del MBES es más complicado y las propiedades de esparcimiento del fondo marino asumen una importancia más grande.

3.3.13.6 Los retornos desde un fondo marino suave y duro. A medida que la onda de sonido viaja en el agua, se mueve desplazando las partículas de agua, haciéndolas vibrar y así permitir el paso de la ola. El agua tiene una impedancia acústica baja, o una resistencia baja al movimiento de la ola. Si embargo cuando la onda alcanza el fondo marino, el fondo tiene una impedancia acústica alta y no permite que la onda de sonido continúe en el fondo marino. Las partículas se condensan densamente y no pueden moverse fácilmente. Puesto que la energía total debe mantenerse y la energía no puede pasar en el fondo marino en forma de una onda acústica, debe ir a alguna parte y el resultado es que se radia de regreso a través del agua. Algunos, probablemente en un porcentaje más pequeño, se reflejarán en la dirección de la ola entrante y viajarán hacia atrás para ser recibidos en el transductor del sonar como un eco.

3.3.13.7 Efectos de los diferentes tipos de fondo marino y diferentes ángulos de incidencia. Los diferentes tipos de fondo marino tendrán niveles diferentes de impedancia acústica. Si el nivel es bajo entonces alguna de la energía sonora es absorbida en el fondo marino y el eco de retorno será más débil. Si el nivel es alto entonces será mayor el reflejado. Similarmente, la intensidad de la señal reflejada también es dependiente del ángulo de incidencia. Si el ángulo es alto, acercándose a 90°, una gran parte de la onda sonora se reflejará con dirección hacia el sonar. Si el ángulo es entonces mas bajo que la parte mayor de la onda sonora se esparcirá en una dirección lejos del transductor, sin embargo algunos todavía regresarán como un eco débil.

3.3.13.8 El tipo de fondo marino tendrá un efecto sobre la señal de retorno también. La relación entre el ángulo de incidencia, el tipo de fondo marino y el nivel de la señal de retorno no es directa. Para un haz que llega con un nivel bajo de incidencia, si el fondo marino es escabroso entonces habrá más caras que están cerca del ángulo correcto de la onda sonora entrante y por consiguiente dan una reflexión más fuerte. Un fondo marino liso producirá en general más señal esparcida en otras direcciones y no atrás en la dirección del receptor del sonar. Para un ángulo alto de incidencia, sin embargo, la situación será invertida probablemente y un fondo marino liso puede dar un mejor retorno . Esto, sin embrago, dependerá sin embargo de varios factores como el tamaño de la partícula y la composición del fondo marino.

3.3.14 Modelos de clasificación militar

3.3.14.1 En la preparación de un modelo de clasificación militar (o de textura) con los registros del sonar, la primera tarea para el hidrógrafo es decidir si la composición del fondo marino es barro, arena, grava o roca. Se aprecia que el fondo marino contiene una gran variedad de combinaciones de las cuatro categorías básicas, pero el análisis más detallado se emprende mejor por las descripciones escritas. Claramente definidos los límites entre los diferentes tipos de fondo marino serán mostrados como líneas firmes; los límites mal definidos serán mostrados con líneas segmentadas. La Figura 4.14 muestra un ejemplo de un modelo del clasificación militar.

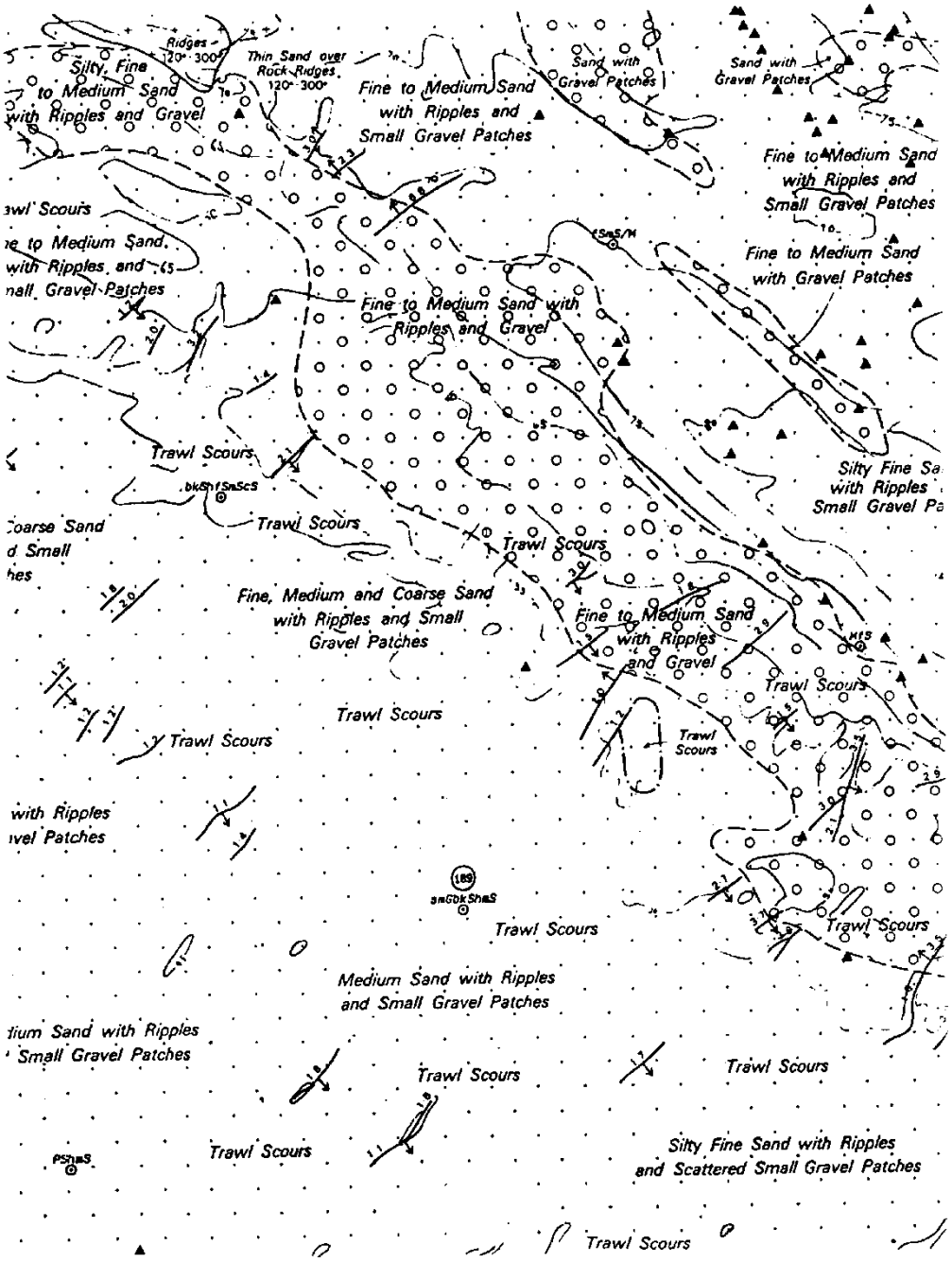


Fig. 4.14 "Ejemplo de un modelo militar de la textura del fondo marino"

3.3.14.2 La representación gráfica de la composición del fondo marino debe extenderse con el uso de las descripciones escritas. Los ejemplos de los términos a ser usados con sus definiciones deben seguir. Se enfatiza que éstos no son exhaustivos; pueden usarse otras palabras asegurando que el significado es claro para todos los que puedan usar la información. Las descripciones de los accidentes "negativos" (por ejemplo "formaciones de arena") son tan útiles como la información de características más prominentes. Las descripciones por escrito y deben ser breves.

3.3.14.3 Accidentes como los naufragios, bancos de arena, barreras de coral y las tuberías también forman una parte importante de la descripción del fondo marino. Estos accidentes son invariablemente más importantes que las descripciones por escrito, y en las áreas congestionadas su inclusión debe tomar prioridad.

3.3.14.4 Bancos de arena, son un accidente común de la topografía del fondo marino, y puede ocurrir como accidentes aislados o en los campos. Se usan símbolos diferentes para cada tipo:

- Bancos de Arena Aislados. Para asegurar la exactitud, la posición de la cresta de la onda debe ser delineada desde el trazo del eco y no desde el registro del sonar. El símbolo para un banco de arena aislado será posicionado entonces a lo largo de la línea de la cresta. Si la onda es asimétrica, una flecha pequeña será insertada apuntando hacia abajo del lado de la inclinación del accidente; la flecha debe omitirse si la onda es simétrica. Deben ser incluidos los detalles de la altura de la cresta sobre el comedero.

- Campos de bancos de arena. Muchos bancos de arena se producen en grupos con una altura y orientación similar. Bajo estas condiciones las ondas individuales no necesitan ser trazadas. La magnitud del campo debe delinearse, una vez más refiriéndose al trazo del eco para la exactitud y el símbolo para un campo de bancos de arena insertado. La orientación de las crestas debe indicarse, así como se debe indicar la longitud de onda, altura, simetría y el lado más inclinado.

3.3.14.5 Para propósitos de delineado, un banco de arena se define por tener una altura mayor que un metro. Los accidentes más pequeños que esto deben clasificarse como pliegues. La longitud de onda se define como la distancia entre dos crestas adyacentes; la altura es la diferencia de la profundidad entre una cresta y su comedero adyacente. Como una regla, las crestas que se trazan más cerca que un centímetro en el papel y que tienen una orientación, altura y longitud de onda similar deben ser consideradas un campo. Los pliegues son a menudo sobrepuestos en las ondas y pueden tener una orientación diferente una descripción escrita breve como “Pliegues 120/300” debe ponerse al lado del símbolo del banco de arena.

3.3.14.6 Los pequeños contactos del fondo. Todos los contactos no efímeros mayores a un metro deben ser trazados. Donde más de cinco de dichos contactos existen en un centímetro cuadrado el área puede delinearse y hacerse una anotación. Donde quiera que sea posible el número de contactos en cada área debe declararse; pueden ser incluidas las descripciones escritas donde sea útil.

3.3.14.7 Naufragios y obstrucciones. Todos los naufragios y las obstrucciones localizadas durante el levantamiento deben ser incluidos en el modelo de clasificación. Los naufragios serán mostrados con el símbolo de “naufragio peligroso”, orientado en la misma dirección del naufragio. La magnitud y dirección de cualquier barrido debe ser notada, ej: "Barrido 155/50m". Otras obstrucciones van a ser mostradas usando el símbolo “foul”, con una descripción escrita si es posible, ej: "*wellhead*".

3.3.14.8 Pequeñas Depresiones. Ciertas áreas del fondo marino pueden contener depresiones pequeñas, distinguibles en el rastro del sonar por la “sombra” que está delante del contacto. Algunos pueden mostrar un borde pronunciado e incluyen “marcas perdidas”. A menos que su origen sea conocido (por ejemplo si una mancha de aceite se mueve durante un levantamiento) la clasificación no debe intentarse.

3.3.14.9 Barrido de pesca. En muchas áreas los barridos de pesca son una parte frecuente y distintiva del fondo marino. Su importancia aumenta por el hecho de que ellos son encontrados más frecuentemente en áreas llanas. Los barridos de pesca aislados serán mostrados individualmente; concentraciones de ellos pueden delinearse y los términos "Numerosos Barridos de Pesca " insertados.

3.3.14.10 Tuberías. Todas las tuberías descubiertas durante un levantamiento serán trazadas. No deben interpolarse áreas de cañerías enterradas a menos que ellos sean visibles en el registro del SSS, en este caso la palabra "enterrada" será insertada como se requiera. Las tuberías que se levantan del fondo marino deben tener su altura en metros notada en intervalos.

3.3.14.11 Contornos de profundidad. Los contornos serán incluidos con el intervalo vertical normal que es de cinco metros. En áreas donde un rango grande de profundidad ocurre esto pueden extenderse a la discreción del hidrógrafo, garantizando que la presentación de la “forma” de la textura es mantenida. El propósito de dibujar los contornos de profundidad es ayudar al hidrógrafo en la interpretación del sonógrafo.

3.3.14.12 Descripciones para el uso de los Modelos de Clasificación del Fondo Marino Militarmente:

Bancos de Arena. Directamente o cerros sinuosos de arena, normalmente alineados a lo largo de la corriente de la marea dominante. La altura mínima es un metro. La separación de la cresta (la longitud de onda) puede ser de hasta 1000 m con alturas que llegan a los 20m. Pueden ser simétricos o asimétricos, y puede tener pliegues en ellos.

Pliegues. Los cerros pequeños de arena, similar en la forma de los bancos de arena pero con una altura de menos de un metro. Normalmente orientados transversos al flujo de la marea o de la corriente con una la longitud de onda de menos de 15 m. Pueden no ser perceptibles con un ecosonda.

Surcos y Cerros. Longitudinalmente forman camas en la grava, arena o barro, algunos de los cuales pueden ser de hasta 9 km de largo y 14 m de ancho. Ellos pueden ser solitarios, pero más comúnmente ocurren en grupos. Ellos son generalmente paralelos a las corrientes predominantes.

Las Cintas de Arena. Normalmente parecen ser menores a un tipo de fondo marino ordinario. La mayoría es recta y paralela a las corrientes. Pueden ser de hasta 15 km de largo, 200 m de ancho y son generalmente de sólo unos centímetros de grueso. Típicamente tienen una apariencia de una “escalera” debido a la presencia de los pliegues.

La grava / arena / los parches de Barro. Los parches del de grava, arena o barro esparcidos finamente a no más de 100 m al través y comúnmente a menos de 2 m de grueso. Pueden ser destituibles y sujetos al movimiento. La forma puede determinarse por el alivio del fondo marino subyacente.

El afloramiento de Rocas. Un parche de piedra que cubre una área pequeña. Se refiere a un grupo cohesivo, no a una colección de peñones.

El pináculo. Una roca de magnitud horizontal limitada con una altura considerablemente mayor que las rocas circundantes.

El anaquel. El afloramiento de rocas con una longitud que exceda los 300 m y relativamente angosto en comparación. A menudo se encuentra en grupos, con dirección y magnitud similar.

El banco. Normalmente de arena o grava, pero puede ser de piedra. Una elevación en el fondo marino sobre un área relativamente pequeña, pero bastante prominente respecto a sus alrededores. Cuando se forma por sedimento, está a menudo orientado a lo largo del flujo de la marea.

Largo / Pequeño. Sinónimo de grande, más grande, alto/ pequeño, mediano, mini, etc.,

Ancho / Estrecho. Usado para expresar la anchura cuando se califica los accidentes como cintas de arena. El ancho sólo debe usarse para las cintas sobre los 150 m ancho, angosto para aquellos menores a los 10 m de ancho.

Liso. Preferiblemente para igualar o nivelar, y puede referirse a un fondo marino que es o aplastado o inclinado. Normalmente se referirá sólo al barro.

Aplastado. Sólo debe usarse para describir las superficies niveladas (o sea sin ninguna pendiente significativa).

Pendiente. Se refiere a cualquier área dónde hay una tendencia general en la profundidad del fondo marino, es decir, una pendiente del fondo marino. Un fondo marino con pendiente puede ser liso pero no puede ser aplastado.

Manso. Gradual, que cambia despacio.

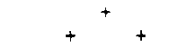
Regular. Calificación que se usa para una serie de accidentes que son uniformes en la amplitud y longitud de onda, es decir, bancos de arena o cerros .

Irregular. Calificación que se usa para los accidentes que no son uniformes pero que tienen una entidad específica, como en los bancos de arena. También pueden ser usados para describir un área de rocas donde ninguna estructura regular es evidente.

Prominente. Usado para describir un accidente o una serie de accidentes que es o son muy obvios en relación a su alrededor general.

Sin accidentes. Normalmente aplicado a un fondo marino llano o liso dónde el aspecto sin accidentes es raro o de magnitud considerable.

3.3.14.13 Los símbolos para el uso en los Modelos de Clasificación del Fondo Marino Militarmente están en la figura 4.15



exposición a las rocas



Grava



Arena



Lodo



Límite de un tipo de fondo marino claramente definido



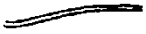
Límite de textura del fondo marino definido III



Cresta de un banco de arena con la altura de la cresta en el comedero en metros, el símbolo indica la dirección y tamaño más inclinado.



Áreas de banco de arena (con la altura, orientación, longitud de onda y simetría; A = Asimétrico; S = Simétrico)



Cañón de barrido de pesca.



Área de barrido de pesca concentrada.



Contacto relevante del sonar.



Parche del fondo marino altamente reflectivo sin altura o tamaño significante



Marca relevante



Posición de una muestra del fondo marino con la descripción abreviada e identificada con un número.



Naufragio, orientado como sea apropiado, con la dirección y la magnitud del barrido



Equivocación u obstrucción (con la clasificación si se aplica)



Pozo sumergido
Tubería



Fondo marino contorneada a intervalos verticales de 5 m.

Fig. 4.15 “Símbolos para utilizar en los modelos de clasificación del fondo marino militarmente”

REFERENCIAS

1987	*"The Use of Side Scan Sonar for Hydrographic Surveying and the Gathering of Bottom Texture Information"*	UK Hydrographic Department Professional Paper No. 24
1990	*"Sound Underwater Images" – A Guide to the Generation and Interpretation of Side Scan Sonar Data.*	Fish JP & Carr HA
1994	*"High Frequency Ocean Environmental Acoustic Models Handbook"*	Washington University Seattle Applied Physics Lab
1997	*"Admiralty Manual of Hydrographic Surveying"*	UK Hydrographic Office
1998	*"Side Scan Versus MBES Object Detection - A Comparative Analysis"*	Brissette MB & Hughes Clarke JE
2001	*"LEEUWIN Class Operating System"*	Australian Hydrographic Service
2004	*"Hydrographic Quality Assurance Instructions for Admiralty Surveys"*	UK Hydrographic Office

CAPÍTULO 5
NIVELES DE AGUA Y FLUJO

1. INTRODUCCIÓN

El propósito de este capítulo es dar al hidrógrafo y al lector técnico la información básica requerida para comprender y aplicar los niveles de agua, productos derivados del nivel de agua y datums, y de las corrientes de agua para llevar a cabo operaciones de campo para ayudar los levantamientos hidrográficos y las actividades cartográficas. El hidrógrafo está preocupado no solo de la elevación de la superficie marina, que está afectada significativamente por las mareas, sino que también lo está por la elevación de la superficie de los lagos y los ríos, donde los fenómenos de marea pueden tener un efecto menor. El término "marea" es aceptado tradicionalmente y utilizado ampliamente por los hidrógrafos en conexión con la instrumentación utilizada para medir la elevación de la superficie del agua, si bien el término "nivel de agua" sería más correcto técnicamente. El término "corriente" similarmente es aceptado en muchas áreas en conexión con las corrientes de marea; sin embargo, las corrientes de agua son afectadas mayormente por mucho más que las fuerzas que producen las mareas. El término "flujo" es utilizado en vez de corriente.

Las fuerzas de mareas juegan un rol tan importante en completar la mayoría de los levantamientos hidrográficos que las fuerzas de producción de mareas y las variaciones de mareas básicas son sólo descritas en general con las referencias técnicas apropiadas en este capítulo. Es importante para el hidrógrafo comprender por qué las características de la marea, del nivel de agua y de la corriente de agua varían en tiempo y espacialmente, de manera que ello sea tomado en cuenta por completo para el planeamiento del estudio y de las operaciones que llevarán a cabo la producción exitosa de levantamientos precisos y de cartas.

Ya que los procedimientos y las aproximaciones para medir y aplicar los niveles de agua, mareas y corrientes varía dependiendo del país, este capítulo cubre los principios generales utilizando ejemplos documentados como sea necesario para la ilustración.

2. MAREAS Y NIVELES DE AGUA

2.1 Principios de las mareas y de los niveles de agua

Las mareas observadas en cualquier puerto dado son el resultado de muchos factores, incluyendo la respuesta del fondo del océano a las fuerzas de producción de mareas, a las modificaciones de la marea debido a los efectos de aguas poco profundas de bahías y ríos locales a los efectos regionales y locales del clima en los niveles de agua.

2.1.1 Fuerzas astronómicas de producción de mareas

En la superficie de la Tierra, la atracción gravitacional de la Tierra actúa en dirección interna hacia su centro de masa y esto mantiene las aguas del océano confinadas a esta superficie. Sin embargo, las fuerzas gravitacionales de la Luna y el Sol, y la fuerza centrífuga del sistema Sol-Tierra-Luna, actúan externamente sobre las aguas del océano de la Tierra. Estas fuerzas externas son ejercidas como fuerzas de producción de marea o fuerzas de tracción. Sus efectos son superpuestos a la fuerza gravitacional de la Tierra y actúan para delinear las aguas del océano horizontalmente a varios puntos de la superficie de la Tierra.

Una marea alta es producida en aguas de océano por la acción "cumulativa" que resulta del flujo horizontal del agua hacia la región de máxima atracción de las fuerzas gravitacionales combinadas lunar y solar. Una marea alta adicional es producida en una posición en el lado opuesto de la Tierra, donde la fuerza centrífuga del sistema orbital predomina sobre la atracción gravitacional del Sol y de

la Luna. Las mareas bajas son creadas por un alejamiento compensado de las aguas de las regiones alrededor del centro de la Tierra entre estas dos protuberancias de mareas. La alteración de las mareas altas y bajas es causada por la rotación diaria (o diurna) del cuerpo sólido de la Tierra en relación a estas dos protuberancias de marea y a la depresión de la marea. Los cambiantes tiempos de llegada de cualquier dos mareas altas o bajas en cualquier ubicación son el resultado de factores numerosos. Las fuerzas de producción de marea básicas tienen dos componentes debido al Sol (solar) y a la Luna (lunar).

2.1.1.1 Origen de las fuerzas de producción de mareas

A un observador en la Tierra le parece que la Luna rota alrededor de la Tierra, pero en realidad la Luna y la Tierra rotan alrededor de su centro común de masa conocido como el *baricentro.* Los dos cuerpos astronómicos tienden a atraerse por la atracción gravitacional y simultáneamente a separarse por la fuerza centrífuga producida a medida que rotan alrededor del baricentro. La atracción gravitacional y centrífuga son iguales en magnitud y opuestas en dirección; por lo que la Tierra y la Luna no son haladas hacia sí mismas ni son separadas de ellas mismas. Hay un efecto similar para el sistema de la Tierra y el Sol, pero ellas son separadas y distintas a las de la Tierra y la Luna (por los componentes solares y lunares).

Estas fuerzas gravitacionales y centrífugas son balanceadas solamente en los centros de masa de los cuerpos individuales. En puntos sobre o dentro de los cuerpos, las dos fuerzas no están en equilibrio, dando resultado a las mareas del océano, atmósfera y litosfera. En la cara de la Tierra que mira la Luna o el Sol, una fuerza de producción de marea neta (o diferencial) actúa en la dirección de la atracción gravitacional de la Luna o del Sol o hacia la Luna o el Sol. En la cara de la Tierra directamente opuesta a la Luna o al Sol, la fuerza de producción de marea neta actúa en dirección a la mayor fuerza centrífuga o lejos de la Luna o el Sol.

2.1.1.2 Fuerza centrífuga

El baricentro del sistema de la Tierra/Luna está en un punto aproximado de 1.700 km por debajo de la superficie de la Tierra, en el lado hacia la Luna, y a lo largo de una línea que conecta los centros individuales de masa de la Tierra y la Luna (Figura 5.1). El centro de masa de la Tierra describe una órbita (E1, E2, E3…) alrededor del baricentro (G) justo a medida que el centro de masa de la Luna describe su propia órbita mensual (M1, M2, M3…) alrededor de este mismo punto.

A medida que la Tierra rota alrededor del baricentro, la fuerza centrífuga producida en el centro de masa de la Tierra es dirigida fuera del baricentro en la misma manera en la que un objeto enrollado con una cuerda gira alrededor de la cabeza de alguien ejerciendo un forcejeo en la mano que lo sostiene. Debido a que el centro de masa de la Tierra está al lado opuesto del baricentro a la Luna, la fuerza centrífuga producida en el centro de masa de la Tierra es alejada de la Luna. Todos los puntos dentro o sobre la superficie de la Tierra experimentan la misma magnitud y dirección de esta fuerza centrífuga. El hecho es indicado por la dirección común y la longitud de las flechas representando la fuerza centrífuga (Fc) en los puntos A, B y C en la Figura 5.1 y las flechas delgadas en estos mismos puntos en la Figura 5.2. De manera similar, el baricentro del sistema de la Tierra/Sol está en un punto bien adentro del Sol porque el Sol tiene más masa en comparación con la Tierra; sin embargo la misma teoría se aplica.

Es importante notar que la fuerza centrífuga producida por la rotación diaria de la Tierra en su propio eje no tiene consecuencias en la teoría de las mareas. Este elemento no juega una parte en la creación de las fuerzas de producción de mareas ya que la fuerza en cualquier ubicación particular permanece constante con el tiempo, de manera que la superficie del agua está siempre en equilibrio con respecto a éste.

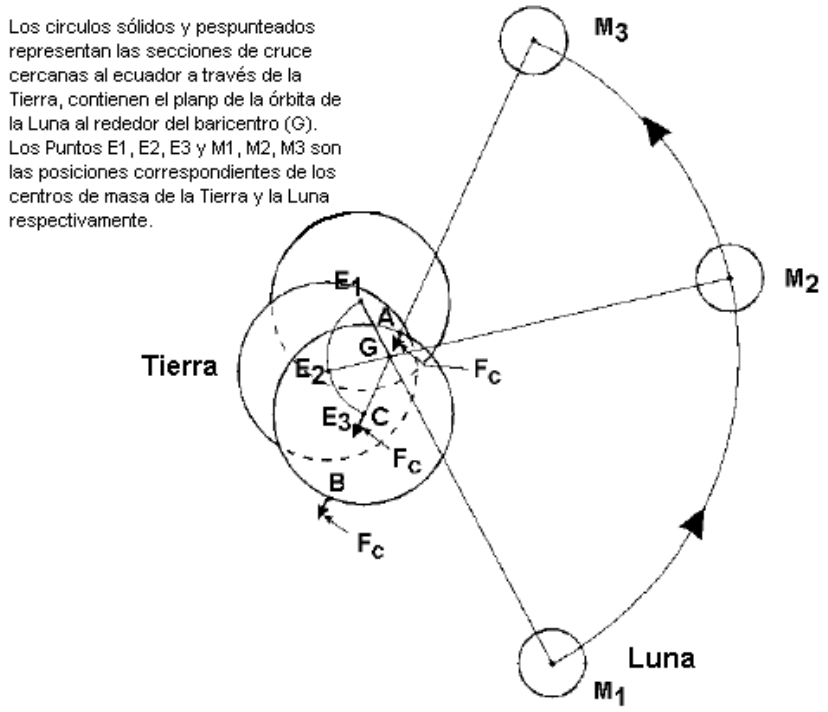
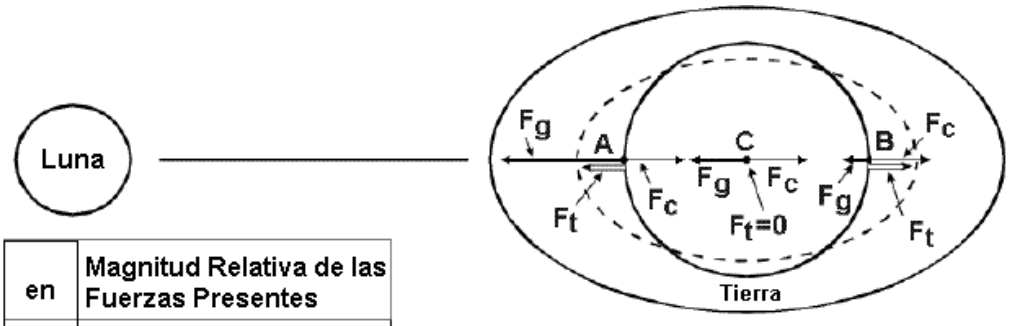


Fig. 5.1

Tipo de Fuerza	Designación
F_c = fuerza centrífuga debido a la revolución de la Tierra al rededor del baricentro	flecha delgada
F_g = fuerza gravitacional debido a la Luna	flecha gruesa
F_t = fuerza resultante del levantamiento de marea debido a la Luna	flecha de doble punta



en	Magnitud Relativa de las Fuerzas Presentes
A	$F_g > F_c > F_t$
C	$F_g = F_c > 0$
B	$F_g < F_c > F_t$

Una sección de cruce norte-sur a través del centro de la Tierra en el plano del ángulo de hora de la Luna; el elipse pespunteado representa un perfil a través del esferoide componiendo la fuerza de marea envolvente; el elipse sólido muestra el efecto resultante en las aguas de la Tierra

Fig. 5.2

2.1.1.3 Fuerza gravitacional

Mientras que el efecto de la fuerza centrífuga externa es constante en todos los puntos de la Tierra, el efecto de la fuerza gravitacional producido por otro cuerpo astronómico cambia de lugar en lugar. Esto es porque la magnitud de la fuerza gravitacional ejercida varía con la distancia del cuerpo atrayente. Entonces, en la teoría de las mareas, otra variable de influencia es introducida, basada en las distancias diferentes de varios puntos de la superficie de la Tierra desde el centro de masa de la Luna. La atracción gravitacional relativa ejercida por la Luna en varias posiciones en la Tierra es indicada en la Figura 5.2 con las flechas identificadas con Fg que son más gruesas que aquellas que representan los componentes de la fuerza centrífuga.

Semejante al hecho de que la propia fuerza centrífuga de la Tierra no juega papel en la producción de mareas, los efectos de la fuerza gravitacional de la Tierra no juegan papel directo en el origen de las mareas. Una vez más, esto es debido a que la fuerza gravitacional de la Tierra en cualquier ubicación particular permanece constante con el tiempo.

2.1.1.4 Fuerzas de producción de mareas diferenciales

La fuerza centrífuga que actúa en el centro de la Tierra como el resultado de su giro alrededor del baricentro es igual y opuesta a la fuerza gravitacional ejercida por la Luna en el centro de la Tierra. Esto se indica en el punto C en la Figura 5.2 con las flechas delgadas y gruesas de igual tamaño, apuntando en direcciones opuestas. El resultado neto de esta circunstancia es que la fuerza de producción de mareas (Ft) en el centro de masa de la Tierra es cero.

El punto *sublunar*, Punto A en la figura 5.2, está aproximadamente a 6.400 kms más cerca de la Luna que el punto C. Aquí, la fuerza producida por la atracción gravitacional de la Luna es mayor que la fuerza gravitacional en C debido a la Luna; ya que la fuerza centrífuga es en todas partes igual y opuesta al la atracción gravitacional de la Luna en el centro de masa de la Tierra, la atracción gravitacional en el punto A sobrepone la fuerza centrífuga, para una fuerza neta en dirección a la Luna. Esto está indicado en la Figura 5.2 por la flecha de doble punta. La marea resultante en el lado de la Tierra hacia la Luna es conocida como la *marea directa.*

En el lado opuesto de la Tierra, el *punto antipodal*, Punto B, está cerca de los 6.400 km más retirado de la Luna que el punto C, la fuerza gravitacional de la Luna es menor que la de C; ya que la fuerza gravitacional en el punto B es mayor que la atracción gravitacional de la Luna en el punto C, la fuerza resultante de producción de mareas en este punto es una vez más dirigida lejos del centro de la Tierra. La fuerza es indicada con la flecha de doble punto en el punto B. La marea producida en el punto *antipodal* es conocida como *marea opuesta.*

Existe también una estructuración similar de fuerzas diferenciales en el sistema Tierra/Sol.

2.1.1.5 Fuerza de atracción

Las fuerzas de producción de mareas tienen una magnitud de sólo cerca de 9 millonésimos de la atracción gravitacional de la Tierra. Las fuerzas de producción de mareas, por lo tanto, son totalmente insuficientes para notablemente levantar el agua en contra de la atracción de la gravedad de la Tierra. En su lugar, las mareas son generadas por el componente horizontal de las fuerzas de producción de mareas. En cualquier punto de la superficie de la Tierra, la fuerza de producción de mareas puede ser resuelta en dos componentes – uno vertical, o perpendicular a la superficie de la Tierra, y otro horizontal, o tangencial a la superficie de la Tierra; ya que el componente horizontal no se opone de ninguna manera a la gravedad, puede actuar para desplazar partículas de agua libremente sobre la superficie de la Tierra hacia los puntos *antipodal y sublunar.*

El componente horizontal, conocido como el componente de fuerza de atracción (desplazamiento), es el mecanismo actual para producir las mareas. La fuerza de atracción es cero en los puntos *sublunar y*

antipodal, ya que la fuerza de producción de mareas es completamente vertical en estos puntos; entonces, no hay componente horizontal. Cualquier agua acumulada en estas ubicaciones por flujo de desplazamiento de otros puntos de la superficie de la Tierra tiende a permanecer en una configuración estable, o en una "protuberancia" de marea. Entonces existe una tendencia constante para que el agua sea desplazada desde otros puntos de la superficie de la Tierra hacia el punto *sublunar* (A en la Figura 5.2) y su punto *antipodal* (B en la Figura 5.2), y para ser apilado en estos puntos en dos protuberancias de mareas. Como un caso especial de la Ley de Gravedad Universal de Newton, la fuerza de producción de mareas varía inversamente al cubo de la distancia al centro de masa del cuerpo atrayente desde un punto dado en la superficie de la Tierra.

Dentro de una banda alrededor de la Tierra aproximadamente a medio camino entre los puntos *sublunar* y *antipodal*, la fuerza de atracción es también cero, ya que la fuerza de producción de mareas es directamente vertical. Hay, por lo tanto, una tendencia para la formación de una depresión estable en esta región.

2.1.1.6 La envolvente de la fuerza de marea

Si las aguas oceánicas fueran a responder exclusivamente a las fuerzas de tracción y la Tierra estuviera cubierta de agua sin continentes, la superficie del agua se aproximaría a la forma de un esferoide alargado. El eje mayor del esferoide estaría a lo largo de una línea que conecte los centros de la masa de la Tierra y de la Luna, el eje menor estaría centrado en ángulo recto con respecto al eje mayor. Las dos protuberancias de la marea y las depresiones de marea están representadas en esta envolvente de las fuerzas por las direcciones de los ejes mayor y menor respectivamente. Desde un punto de vista puramente teórico, la rotación diaria de la Tierra sólida en relación a estas dos protuberancias de marea y la depresión pueden ser concebidas como la causa de las mareas lunares. En relación al Sol, las protuberancias resultantes y las depresiones pueden concebirse como la causa de las mareas solares.

A medida que la Tierra rota, uno puede esperar idealmente encontrar una marea alta seguida de una marea baja en el mismo lugar 6 horas después, luego la segunda marea alta después de las 12 horas y así sucesivamente. Este sería el caso cercano si la Tierra libre de continentes, sin obstáculos estuviera cubierta de agua con profundidad uniforme, si la fuerza de marea de la Luna pudiera ser considerada exclusivamente, la posición de la Luna sería fija e invariable en la distancia y en la orientación relativa en relación a la Tierra y al Sol y si no hubiera otra influencia aceleradora o retardadora afectando los movimientos de las aguas de la Tierra; sin embargo esto está lejos de la situación verdadera.

Primero, la envolvente de la fuerza de marea producida por el efecto de la Luna es acompañada por, e interactúa con, una fuerza de marea producida por el Sol. La fuerza de mareas que ejerce el Sol es la resultante de la atracción gravitacional del Sol y la fuerza centrífuga creada por la revolución de la Tierra alrededor de la masa de centro del sistema Tierra-Sol. La posición de esta envolvente de la fuerza cambia con la posición orbital relativa de la Tierra en relación al Sol; debido a la gran diferencia entre las distancias promedio de la Luna y el Sol desde la Tierra (384.400 km y 150.000.000 km respectivamente), la fuerza de producción de mareas de la Luna es aproximadamente 2.5 veces la del Sol, aunque el Sol es mucho más grande que la Luna.

Segundo, existe un amplio rango de variables astronómicas en la producción de mareas. Algunas de éstas son las distancias cambiantes de la Luna desde la tierra y de la Tierra desde el Sol, el ángulo que la Luna en su órbita forma con el ecuador de la Tierra, el ángulo en el que el Sol aparece en la órbita anual alrededor de la Tierra y de la fase variable de la Luna con respecto al Sol y la Tierra. Algunas de los principales tipos de mareas que resultan de estas influencias puramente astronómicas que están descritas más abajo.

Tercero, otros efectos vienen al caso, causando que el nivel del agua difiera de la marea inducida astronómicamente. Estos incluyen las restricciones del flujo del agua causado por los continentes y los efectos meteorológicos, entre otros.

2.1.2 Características de las mareas

Las características reales de las mareas en localidades alrededor de la Tierra difieren significativamente de las mareas envolventes discutidas anteriormente. Primero que todo, el agua es un fluido casi viscoso, que cumple con su repuesta a las fuerzas generadoras de mareas. Asimismo, la Tierra no es una esfera lisa con agua uniformemente profunda cubriéndola en toda su extensión. Los movimientos de marea son afectados por la fricción con el fondo oceánico y con otras corrientes oceánicas; los continentes interrumpen, restringen y reflejan los movimientos de marea; la forma y el tamaño de los fondos oceánicos acentúan o disminuyen varios componentes de las fuerzas de producción de mareas.

El ascenso y descenso de la marea no ocurren a una velocidad uniforme. A partir de la bajamar, la marea comienza a subir muy lentamente al principio, con un incremento constante de velocidad que se mantiene alrededor de 3 horas, cuando la velocidad es máxima. El ascenso continua alrededor de 3 horas más, con un constante decrecimiento de velocidad hasta la pleamar. La marea bajante sigue un patrón similar de incremento y decrecimiento de velocidad. Cuando se representa gráficamente el ascenso y descenso de la marea, se puede ver la forma aproximada de una curva de seno. En cualquier ubicación, sin embargo, el ascenso y descenso de la marea, y en consecuencia la forma de la curva, será caracterizada por una variedad de factores. Estos factores variarán considerablemente de lugar en lugar. De estas características, tres pueden ser consideradas como el principio constituyente de las características de la marea. Estos son los tres factores; el tiempo de la marea, la amplitud de la marea y el tipo de la marea. El hidrógrafo debe entender y considerar cada una de estas tres características para completar y aplicar las reducciones de mareas a los sondeos.

2.1.2.1 Tiempo de la marea

Una luna estacionaría parecería que atraviesa el meridiano en un punto dado una vez al día; pero, ya que la Luna gira alrededor de la Tierra en la misma dirección en la que la Tierra está rotando, cualquier punto de la Tierra debe rotar realmente 12.5º extra aproximadamente cada día para igualar a la Luna. Estos 12.5º requieren de cerca de 50 minutos, resultando en “un día lunar” de 24 horas y 50 minutos.

El tiempo de la marea se refiere al tiempo de ocurrencia de la pleamar y de la bajamar en relación al pasaje del meridiano de la Luna. Esta característica de la marea en un lugar específico es descrita por los intervalos “*lunitidales”* de la pleamar y bajamar. El intervalo lunitidal es el tiempo transcurrido entre un pasaje meridiano de la Luna y la pleamar o bajamar. Los intervalos lunitidales no son constantes a lo largo de cualquier meridiano dado. Los intervalos varían, basados en la interrupción de la onda de marea por las masas de tierra y por la resistencia del fondo oceánico a medida que la onda se mueve en aguas pocas profundas.

Los intervalos no son constantes, aun en un lugar determinado, pero estos varían periódicamente dentro de ciertos límites. Esta variación limitada en el intervalo lunitidal resulta de la interacción entre las fuerzas de marea de la Luna y el Sol. Entre Luna nueva y el primer cuarto, y entre la Luna llena y el tercer cuarto, esta interacción puede causar la aceleración en los tiempos de llegada de la marea. Entre el primer cuarto y la Luna llena, y entre el tercer cuarto y la Luna nueva, la interacción puede resultar en un rezago de la llegada de la marea.

Los intervalos lunitidales son definidos en términos del pasaje de la Luna sobre el meridiano de Greenwich y el pasaje de la Luna sobre el meridiano de la longitud local. Estos son conocidos respectivamente como el intervalo lunitidal de Greenwich y el intervalo lunitidal local. Los intervalos Greenwich son más útiles para relacionar los tiempos de mareas en un lugar con los de otro lugar. El

tiempo de la marea es importante para el análisis y predicción de las mareas y en el cálculo de los correctores de las zonas de mareas.

2.1.2.2 Amplitud de la marea

La diferencia en altura entre pleamar y bajamar consecutivas en un lugar determinado es conocida como la amplitud. En el océano abierto, la altura real de la cresta de la onda de marea es relativamente pequeña (usualmente de 1 m o menos) y es uniforme. Es sólo cuando las crestas de la marea se mueven a las aguas poco profundas, contra las masas de tierra, y en los canales de confinamiento que la gran amplitud de marea y las variaciones notables en la amplitud son aparentes.

La amplitud de la marea en un lugar en particular no es constante, sino que varía día a día. Parte de esta variación es causada por los efectos del viento y del clima, pero mayormente es un fenómeno periódico relacionado con las posiciones del Sol y de la Luna en relación a la Tierra, en este cambio de día a día, la marea responde a tres variaciones, cada una asociada con un movimiento particular de la Luna.

Efectos de Fase Lunar: Mareas de Sicigias y Mareas de cuadratura – En la mayoría de los lugares, la fase de la Luna tiene el mayor efecto sobre la amplitud de la marea. Se ha notado que las mareas originadas por los efectos combinados de las fuerzas de tracción generadas por el Sol y la Luna; debido a la posición cambiante de la Luna en relación a la Tierra y al Sol (Figura 5.3) durante sus fases de ciclo mensual, las fuerzas de tracción generadas por la Luna y el Sol actúan de distinto modo a lo largo de una línea común y en los ángulos cambiantes relativos a cada uno.

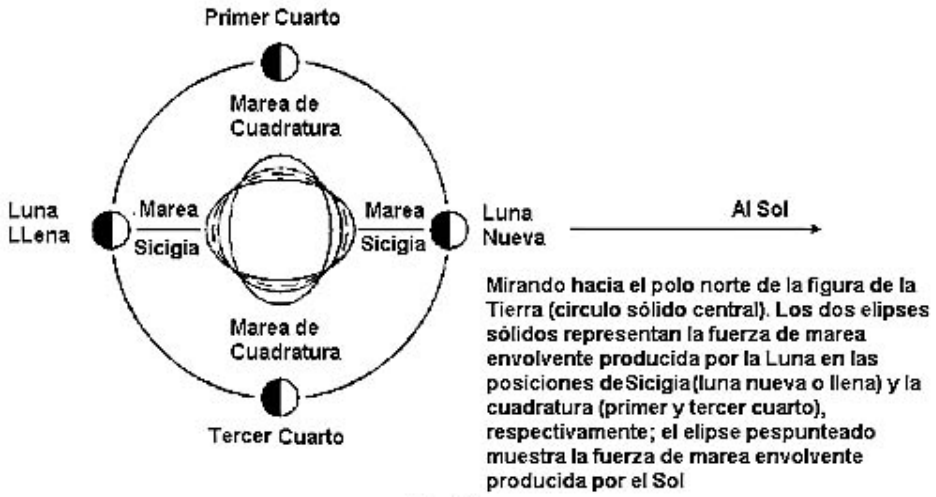


Fig. 5.3

Cuando la Luna está en la fase nueva y en la llena (ambas posiciones se llaman sicigia), las atracciones gravitacionales de la Luna y el Sol actúan para reforzarse mutuamente; a medida que el resultante o la fuerza combinada de marea es mayor en todos los lugares que muestran una pleamar o una bajamar consecutivas. Dichas mareas mayores al promedio resultante de las posiciones sicigia de la Luna son conocidas como mareas Sicigias – Un término que implica una “subida” del agua y no tiene ninguna relación con el momento del año.

En las fases del primer y tercer cuarto (cuadratura) de la Luna, las atracciones gravitacionales de la Luna y del Sol sobre las aguas de la Tierra son ejercidas formando un ángulo recto entre si. Cada fuerza tiende a contrarrestar la otra. En la envolvente de la fuerza de marea que representa estas fuerzas combinadas, se reducen los valores de fuerza máxima y mínima. Las mareas altas son más bajas del promedio y las bajas son más altas. Estas mareas de amplitud disminuida se llaman mareas de cuadratura, de la palabra Griega “escaso”.

Efectos de Paralaje (de la Luna y el Sol)- Ya que la Luna sigue un patrón elíptico (Figura 5.4), la distancia entre la Tierra y la Luna variará a través del mes en cerca de 50.000 km. La atracción gravitacional de la Luna para las aguas de la Tierra cambiará en proporción inversa al cubo de la distancia entre la Tierra y la Luna, de acuerdo con la variación de la Ley de Gravedad de Newton mencionada anteriormente. Una vez cada mes, cuando la Luna está más cerca de la Tierra (perigeo), las fuerzas generadoras de mareas serán más altas de lo normal, por lo que se producirán mareas de amplitud por encima del promedio. Aproximadamente 2 semanas después, cuando la Luna (en apogeo) está más alejada de la Tierra, la fuerza de producción de marea lunar será más pequeña y las amplitudes de mareas serán menores al promedio. De igual manera, en el sistema Sol-Tierra, cuando la Tierra está más cerca al sol (perihelio), cerca del 2 de enero de cada año, las amplitudes de marea aumentarán y cuando la Tierra está más lejos del Sol (afelio), alrededor del 2 de julio, las amplitudes de marea se reducirán.

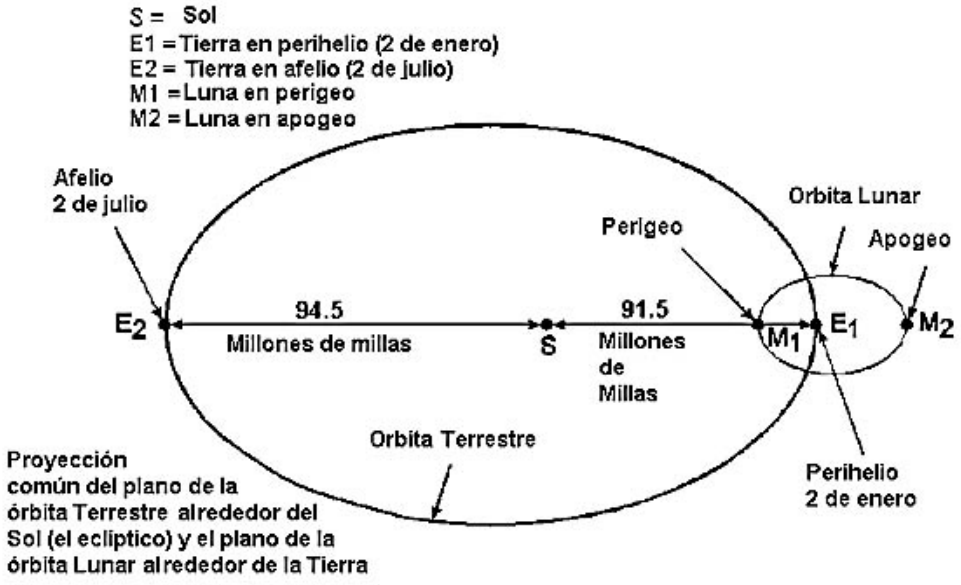


Fig. 5.4

Cuando el perigeo, perihelio y la luna nueva o la luna llena ocurren al mismo tiempo aproximadamente, dan como resultado amplitudes de marea considerablemente grandes. Cuando el apogeo, afelio y el primer o tercer cuarto de la Luna coinciden aproximadamente al mismo tiempo, ocurren normalmente amplitudes de mareas considerablemente reducidas.

Efectos de Declinación Lunar: La Desigualdad Diurna - El plano de la órbita de la Luna está inclinado sólo en 5º del plano de la órbita de la Tierra (la eclíptica) y entonces la Luna en su revolución mensual alrededor de la Tierra permanece muy cerca de la eclíptica.

La eclíptica está inclinada 23.5º con respecto al ecuador de la Tierra, luego el movimiento del Sol al norte y sur del ecuador, produce las estaciones. De manera similar, la Luna, al hacer una revolución alrededor de la Tierra una vez al mes, pasa de una posición de distancia angular máxima al norte del ecuador a una posición de distancia angular máxima sur del ecuador durante cada medio mes. Esto es *declinación.*

Dos veces al mes, la Luna cruza el ecuador. En la Figura 5.5, esta condición se muestra por la posición pespunteada de la Luna. La envolvente de la fuerza de marea correspondiente dada por la Luna está dibujada, en perfil, por el elipse pespunteado. Las mareas que ocurren cuando la Luna está

cerca del ecuador son conocidas como *mareas ecuatoriales*, mientras aquellas que ocurren cuando la Luna está cerca de su máxima declinación norte o sur son conocidas como *mareas tropicales.*

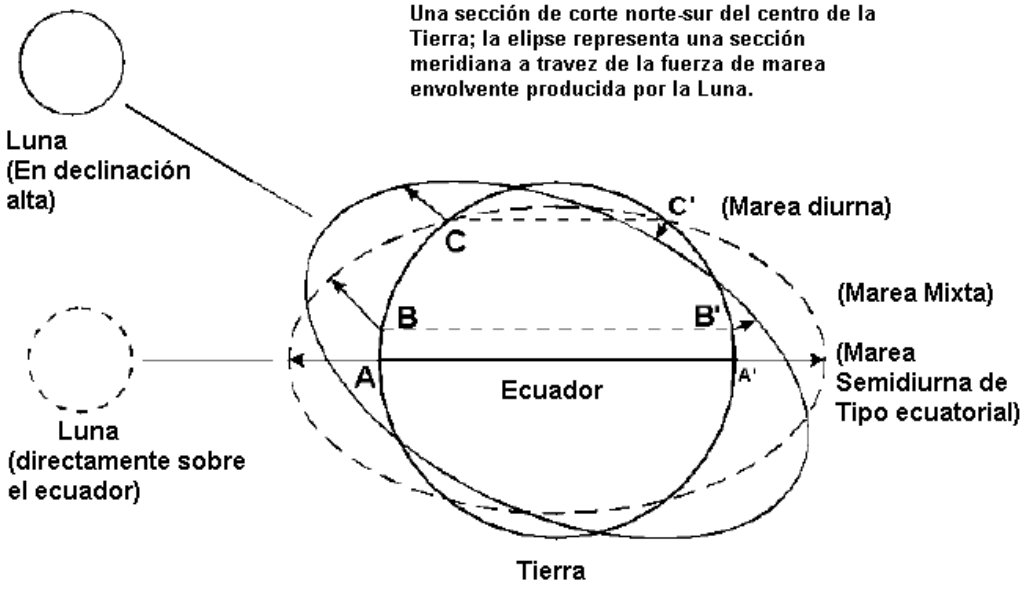


Fig. 5.5

Variabilidad – Los efectos de fase, paralaje y declinación no se muestran en todas partes en igual medida, aunque todos ocurren en todas partes de la Tierra. Las desigualdades de fase son comúnmente las mayores, pero en cualquier área en particular cualquiera de las tres variaciones puede ejercer la influencia predominante en la variación de la amplitud de la marea. El mes de las fases Lunares, el *mes sinódico* es de aproximadamente 29,5 días; el mes de distancia Lunar, el *mes anomalístico,* es de aproximadamente 27,5 días; y el mes de declinación Lunar, el *mes trópico* es de 29,3 días. Como resultado, entonces, se obtiene la variación total considerable en la amplitud de la marea que ocurre en cualquier lugar como resultado de las relaciones cambiantes progresivas de las tres variaciones entre sí. En Seattle, por ejemplo, la amplitud media de la marea es de 2,3 m, pero las amplitudes individuales en un día particular puede variar desde menor de 1,5 m a más de 4,5 m.

La amplitud de marea es objeto de otras variaciones periódicas (por ejemplo, las diferencias del paralaje solar resaltado anteriormente), pero las tres variaciones discutidas antes son las principales. El hecho de que estas variaciones principales completen su ciclo en 29,5 días o en menos es la principal razón por la que el hidrógrafo debe operar las estaciones clave de mareas por un mínimo de 30 días. Aunque la variación de la amplitud de un período de 30 días a otro cambiará un poco, cualquiera de los 30 días consecutivos en combinación con las estaciones de largo plazo será suficiente para la preparación de las reducciones de mareas hidrográficas. Una desviación de largo plazo importante en la amplitud de marea es resultado del cambio lento y variable en la orientación de la órbita de la Luna llamada la regresión de los nodos Lunares. Esta variación provoca una lenta diferencia medible en la amplitud de marea. Esta desviación resalta la necesidad de usar los factores nodales o correcciones nodales cuando se hagan los análisis armónicos o las predicciones y es importante en la determinación de los datums de mareas (ver sección 2.1.4).

2.1.2.3 Tipos de mareas

De las tres características principales, la fundamental es la del tipo de mareas. Si las mareas en dos lugares son del mismo tipo, pero difieren en tiempo o en amplitud, la marea en un lugar se puede relacionar simplemente y precisamente a la otra marea. Esta similitud es la base de la habilidad del higrógrafo para conceder datums de sondeo y para calcular los reductores de nivel de agua precisos en áreas donde una serie relativamente corta de observaciones de mareas han sido obtenidas. Por otra parte, si el tipo de marea en los dos sitios difiere el hecho de que el tiempo o la amplitud pueda ser la misma no indica necesariamente una relación simple entre los dos sitios. Las diferencias en tiempo y en amplitud de la marea son netamente diferencias en grados, pero diferencias en el tipo de mareas son las diferencias en la naturaleza básica de la misma.

El tipo de marea se refiere a la forma característica de pleamar o bajamar como lo revela la curva de marea. Aunque la curva de marea para cualquier lugar particular será diferente en algunos aspectos de los de cualquier otro lugar, las curvas de marea se pueden agrupar dentro de tres clases o tipos. Estos tipos son mareas semidiurnas, diurnas o mixtas.

Refiriéndonos a la figura 5.5, los puntos A y A’ están a lo largo del eje mayor de esta elipse, la altura de la pleamar representada en A es la misma de la que ocurre a medida que este punto rota a la posición A’ casi 12 horas más tarde. Cuando la Luna está sobre el ecuador – o cuando la declinación produce efectos similares sobre la fuerza en los puntos A y A’, las dos pleamares y las dos bajamares en un día dado son similares en altura en cualquier lugar. La pleamar y la bajamar sucesivas son entonces casi espaciadas igualmente en el tiempo y ocurren uniformemente dos veces al día. Esto es conocido como el tipo de *marea semidiurna.* Una curva semidiurna de pleamar versus tiempo se muestra en el diagrama de arriba de la Figura 5.6. El tipo de marea semidiurno es una en la que el ciclo completo de pleamar y bajamar se completa en medio día. Hay dos pleamares y dos bajamares en un día de 24 horas 50 minutos. Para ser clasificados como la marea semidiurna, los dos ciclos de marea diarios deben parecerse a si mismos de manera que, aunque no sean idénticos, las dos pleamares no se diferencien mucho y las dos bajamares no se diferencien mucho.

Sin embargo, con el cambio de la distancia angular de la Luna por encima o por debajo del ecuador (como se muestra en la figura 5.5), la envolvente de la fuerza de marea producida por la Luna está inclinada, y comienzan a producirse diferencias entre las alturas de las dos mareas diarias. Variaciones en las alturas de marea que resultan de los cambios en el ángulo de declinación de la Luna y la dirección de la fuerza gravitacional da origen a un fenómeno conocido como desigualdad diurna.

En la Figura 5.5, el punto B está debajo de un abultamiento de la envolvente de la fuerza de marea. Medio día después, en el punto B’, se encuentra nuevamente dentro de un abultamiento, pero la altura de la marea no es tan grande como en B. Esta situación produce que dos veces en el día las pleamares o bajamares muestren alturas desiguales. Este tipo de marea, que muestra una fuerte desigualdad diurna, es conocida como marea mixta. (Ver el diagrama del medio en la Figura 5.6). El tipo de marea mixto es uno en el cual dos pleamares y dos bajamares ocurren cada día, pero en el cual hay marcadas diferencias entre las dos pleamares o entre las dos bajamares del día. Este tipo de marea es denominado marea mixta porque tiene las propiedades de una mezcla de las mareas semidiunas y diurnas.

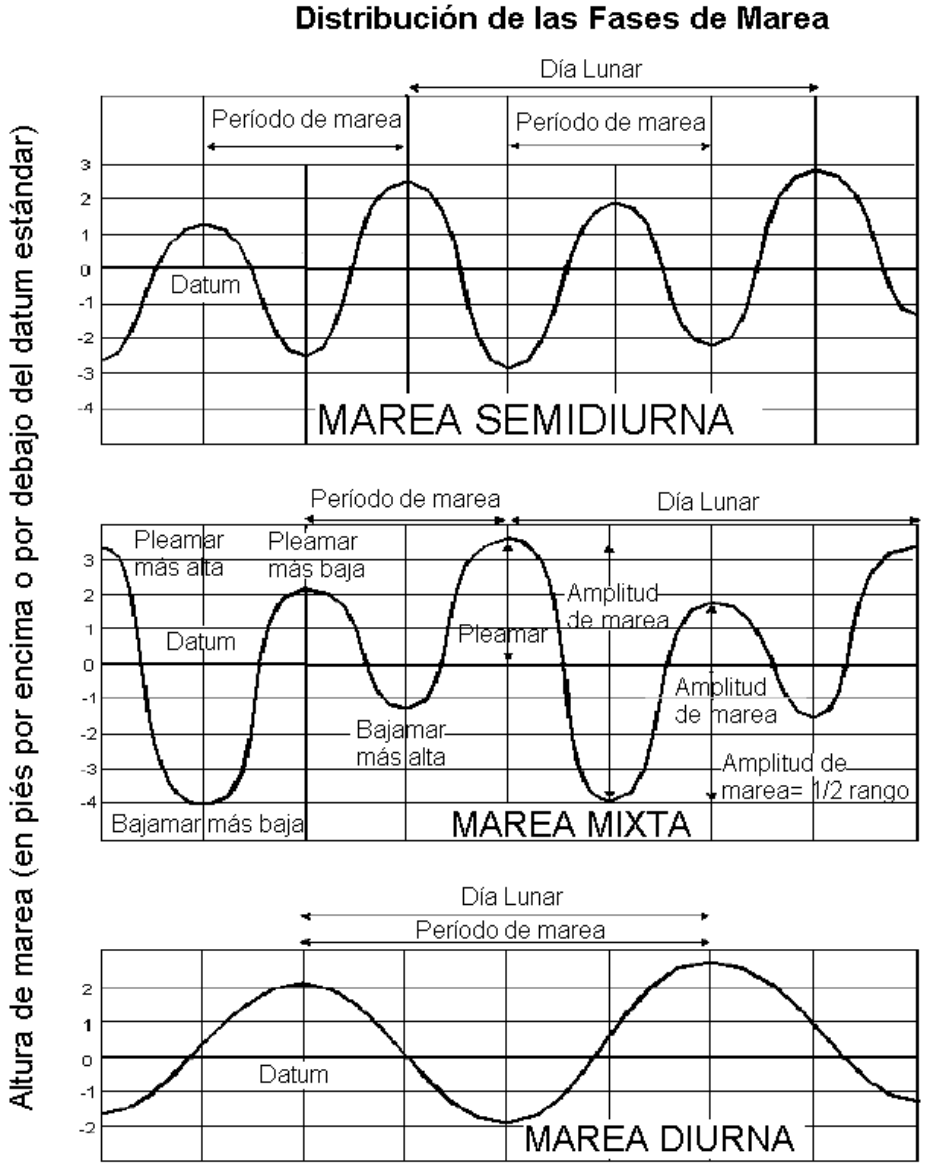


Fig. 5.6

Finalmente, como se muestra en la Figura 5.5, el punto C se ve que está por debajo de una porción de la envolvente de la fuerza de marea. Medio día después, sin embargo, a medida que este punto rota hacia la posición C', se ve que está por encima de la envolvente de la fuerza de marea. En este lugar, sin embargo, las fuerzas de marea presentes producen sólo una pleamar y una bajamar cada día. El tipo diurno resultante se muestra en el final del diagrama de la Figura 5.6. El tipo diurno de marea describe aquellas mareas en las que una pleamar y una bajamar ocurren en un día lunar. En este tipo de marea, el período de pleamar, y también el de bajamar, es de aproximadamente 12 horas de forma opuesta a las 6 horas de los períodos de las mareas semidiurnas.

Ejemplos de cada uno de los tres tipos de mareas se muestran en la Figura 5.6, usando estos tres días de registros de mareas de las Hampton Roads, Virginia; San Francisco, California y Pensacola, Florida. La línea horizontal a través de cada curva representa el nivel medio del mar y la magnitud de la pleamar y de la bajamar sobre y por debajo de la media del nivel del mar es indicada por la escala a la izquierda.

La curva más alta, de Hampton Roads, ilustra el tipo de marea semidiurna. Dos pleamares y dos bajamares ocurrieron cada día, las mareas de la mañana y de la noche difieren relativamente en muy poco. La curva de abajo, de Pensacola, ilustra el tipo de marea diurno, una pleamar y una bajamar ocurrieron en el día. La curva de San Francisco ilustra una forma de tipo de marea mixto. Dos pleamares y dos bajamares ocurrieron cada día, pero las mareas de la mañana difieren considerablemente de las de la tarde. En este caso en particular, la diferencia se ve en las pleamares y en las bajamares.

La diferencia entre las mareas correspondientes a la mañana y a la tarde, o desigualdad diurna, surge primariamente del hecho de que la órbita de la Luna está inclinada hacia el plano del ecuador. Esta inclinación resulta de la existencia de las fuerzas de producción de marea diurna y semi diurna. Estas fuerzas afectan ascenso y descenso real del nivel del agua en diferentes grados en diferentes lugares, mayormente como un resultado a la respuesta local y de la cuenca a las fuerzas y por lo tanto resultan diferentes magnitudes de la desigualdad diurna. De hecho, la distinción entre las mareas mixtas y las semidiurnas está basada completamente en la diferencia de magnitud de la desigualdad diurna.

La Figura 5.6 ilustra la curva de marea de San Francisco, que es de tipo mixta. Si bien hay desigualdad diurna en las pleamares y en las bajamares, la desigualdad en las bajamares es mayor. En Hampton Roads, la desigualdad, aunque no muy grande se muestra principalmente en las pleamares. Como se ilustra en la figura 5.7, la desigualdad puede verse principalmente en las bajamares, en las pleamares o pueden aparecer por igual en las pleamares y en las bajamares. También es importante que la desigualdad diurna es una característica del tiempo de la mareas así como de las altura de la marea. A medida que la desigualdad de la altura varía de lugar en lugar y día a día, la duración de la pleamar y de la bajamar y el intervalo lunitidal también varía.

Para diferenciar las dos mareas en un día, se le han dado nombres fijos a cada una de las mareas. De las dos pleamares, la más alta es llamada “Pleamar más alta” (HHW) y la más baja, “pleamar más baja” (LHW). De la misma forma, las dos bajamares son llamadas “bajamar más baja” (LLW) y “bajamar más alta” (HLW). (Ver figura 5.6). Como medida de la desigualdad, los términos “desigualdad diurna de pleamar” (DHQ) y “desigualdad diurna de bajamar” (DLQ) son usados. El DHQ es definido como la mitad de la diferencia entre las medias de las pleamares más altas y de las pleamares más bajas y el DLQ es definido como la mitad de la diferencia entre las medias de las bajamares más bajas y las bajamares más altas.

Esto puede ser mejor comprendido como la diferencia entre la media de la pleamar y la media de la pleamar más alta, y la diferencia entre la media de la bajamar y la media de la bajamar más baja, respectivamente.

El estudio de una serie mensual de mareas, como en las curvas mostradas en la Figura 5.7, mostrará que la desigualdad diurna también varía en magnitud en relación a la declinación de la Luna, la desigualdad es la menor cuando la Luna está cerca del ecuador, como estuvo en este mes desde el 3 al 5 y del 18 al 20, y siendo la mayor cuando la Luna está cerca de la declinación máxima norte o sur, como estuvo del 11 al 13 y del 25 al 27.

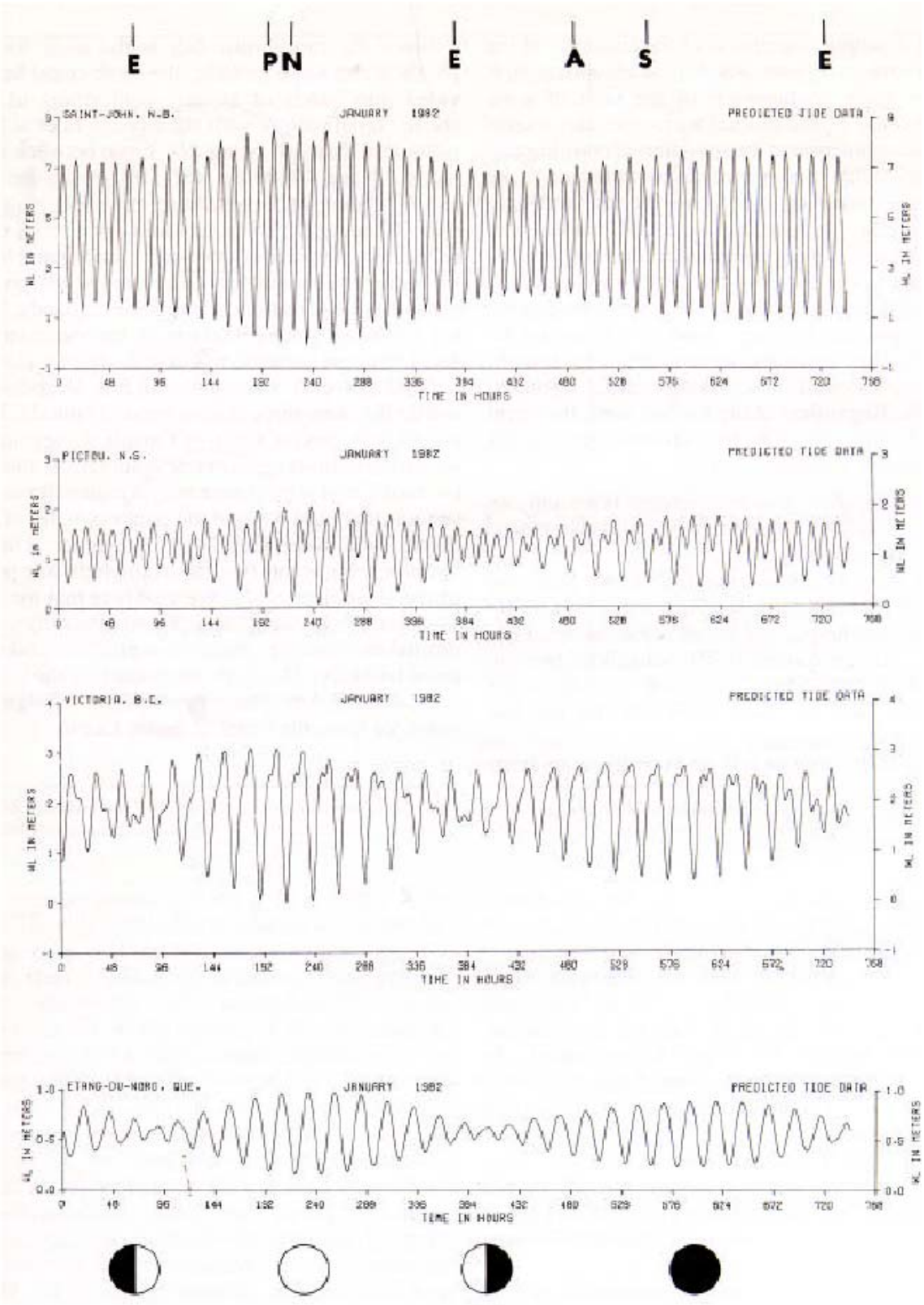

E PN E A S E
SAINT-JOHN, N.B.
JANUARY 1982
PREDICTED TIDE DATA
WL IN METERS
TIME IN HOURS
PICTOU, N.S.
JANUARY 1982
PREDICTED TIDE DATA
WL IN METERS
TIME IN HOURS
VICTORIA, B.C.
JANUARY 1982
PREDICTED TIDE DATA
WL IN METERS
TIME IN HOURS
ETANG-DU-NORD, QUE.
JANUARY 1982
PREDICTED TIDE DATA
WL IN METERS
TIME IN HOURS

Fig. 5.7

2.1.2.4 Efectos de cuenca y de costa

A pesar de que las fuerza combinadas del sol y de la Luna son las que fijan el movimiento de la onda de marea, frecuentemente es el tamaño y la forma de la cuenca del océano la que controla las características de la marea. Por ejemplo, Pensacola, Florida no está cerca del polo – la región en la que la Figura 5.5 registraría mareas diurnas – pero que sin embargo tiene una inequívoca marea diurna. De forma similar, San Francisco y Hampton Roads están a casi la misma latitud, pero tienen diferencias notorias en las características de mareas. Muy parecido al agua en una bañera que se puede hacer que se mueva de extremo a extremo, las oscilaciones de marea en una cuenca de océano o en un mar restringido se pueden acentuar por el período natural de resonancia de la cuenca. La cuenca del Océano Pacífico acentúa el componente diurno de las mareas, dando como resultado mareas diurnas o mixtas muy fuertes. El Atlántico, por otro lado, acentúa el componente semidiurno de las mareas. Como un ejemplo más localizado, mucho del Golfo de México responde principalmente a los componentes de marea diurnos.

El tipo de marea predominante puede cambiar en distancias relativamente cortas. Por ejemplo, la costa este de Florida muestra mareas semidiurnas, la mayor parte de la costa oeste de Florida muestra mareas mixtas y la mayor parte del panhandle de Florida tiene mareas diurnas.

Ciertas configuraciones costeras y de fondo marino pueden aumentar enormemente la amplitud de la marea. Muy parecido a cuando una ola de viento corona y se rompe al llegar a la playa, una ola de marea también aumenta en altura a medida que encuentra aguas poco profundas al acercarse a la línea de costa. El examen de las amplitudes de mareas en estaciones costeras casi siempre mostrará el aumento de la amplitud a medida que la marea se mueve hacia arriba de una bahía o un canal. El Canal Cook en Alaska, un cuerpo de agua inclinado con forma de embudo es particularmente un buen ejemplo. A medida que la marea se mueve hacia adentro en el Golfo de Alaska, su amplitud aumenta de 3 m aproximadamente en la entrada a 10 metros cerca de la cabeza en Anchorage. Sobre Anchorage, en el brazo Turnagain el canal se estrecha y se hace menos profundo. En los momentos de las mareas más altas, la pleamar va desde el brazo contra la última corriente de reflujo y se levanta en una pared vertical de agua que llega casi a los 2 m de altura. Esta pared de agua generada de marea es conocida como un *macareo.* Macareos, olas de marea o bores de mareas ocurren en varios ríos o estuarios alrededor del mundo donde la amplitud de la marea es mayor en la configuración de la costa y el fondo marino es el ideal.

2.1.3 Variaciones del nivel de agua no ocasionadas por la marea

Los cambios en el nivel de agua observado a lo largo de las costas se deben no sólo a las fuerzas de marea sino que también son llevados por la variedad de otras fuerzas sobre un amplio rango de escalas de tiempo. En las frecuencias más altas, los niveles de agua pueden ser afectados por tsunamis, seiches y ondas de tormenta. Los cambios del viento local y de la presión barométrica pueden tener un gran efecto, especialmente en aguas poco profundas. El ascenso del agua debido vientos dirigidos hacia la costa y baja presión barométrica generalmente causarán que los niveles de agua estén por encima de los predichos mientras que los vientos dirigidos fuera de la costa y la presión barométrica alta tienden a tener el efecto opuesto. Fuertes patrones metereológicos estacionales tendrán efectos en los niveles del mar mensuales. Los efectos del ENSO (Oscilación del Sur El Niño) en la media mensual de los niveles del mar en el Océano Pacífico son notables en particular. Los efectos de corto plazo y estacionales también se encuentran en la marea de los estuarios con fuertes corrientes de río y son debidos a las características de la descarga de cada una de las vertientes y controladas por los embalses aguas arriba.. Los Grandes Lagos y otros lagos importantes son sensibles a los ciclos anuales de evapo-transpiración y al la pérdida o ganancia del volumen de agua neto. Las variaciones de tiempo en los patrones de circulación oceánica y las desviaciones en los remolinos del océano también pueden afectar los niveles de la costa. Dependiendo de la escala espacial del evento meteorológico, los efectos pueden verse en la cuenca, regionalmente o sólo localmente. El hidrógrafo necesita estar generalmente alerta de estas dependencias al planificar o llevar a cabo las operaciones

de levantamiento y de distinguir cualquier anomalía en las medidas del nivel de agua dadas por causas climatológicas o naturales comparadas con las medidas del mal funcionamiento.

2.1.4 Marea y Datums del nivel de agua

El hidrógrafo debe ser capaz de relacionar todas las profundidades medidas sin importarle el estado de la marea o el nivel del agua en el momento del sondeo con un plano común o datum. El datum utilizado para reconocer alturas o profundidades para aplicaciones marinas es un datum vertical llamado “datum de nivel de agua”. Para los datums derivados de las mareas, la mayoría son calculados sobre, o referenciados en, períodos específicos de 19 años o épocas de datum de marea. El período de 19 años es importante como se discutió en la sección 2.1.2.2, debido a la modulación de 19 años de los componentes lunares de la variación a largo plazo en el plano de la órbita lunar llamado la regresión de los nodos lunares.

El datum de nivel de agua al que los sondeos en un levantamiento en particular hacen referencia es conocido como el “datum de sondeo”. El datum al que las profundidades en una carta se refieren es conocido como el “datum de carta”. Un datum de nivel de agua es llamado un “datum de marea” cuando está definido en términos de una cierta fase de marea. En las aguas costeras de Estados Unidos, la Media de la bajamar más baja (MLLW) es usada para los sondeos y para el datum de las cartas. La MLLW es calculada de la tabulación de las observaciones de la marea, en este caso el promedio de la bajamar más baja de cada día lunar por un período de 19 años. En la actualidad los Estados Unidos refieren todos sus datums de marea calculados de las observaciones de marea a la *Nacional Tidal* Datum *Epoch* (NTDE) Epoca Nacional de Datum de Marea 1983-2001 y actualiza la NTDE sólo después del análisis del cambio de la media relativa del nivel del mar. En contraste, algunos Datums de Cartas se derivan de análisis armónicos de observaciones y de series de tiempo construidas de las predicciones de marea por períodos de 19 años. El Datum de la Carta Canadiense es la superficie de la Bajamar más baja correspondiente a las grandes mareas o LLWLT que contiene al datum utilizado anteriormente de la Marea Normal más Baja (LNT). Las cartas Británicas ahora utilizan una Carta Datum de la Marea Astronómica más Baja (LAT) basada en la marea más baja predicha que se espera que ocurra en un período de 19 años. El LAT se determina en una ubicación particular al realizar un análisis armónico de las observaciones, luego se utilizan los componentes armónicos de resultado en una ecuación de predicción para pronosticar la elevación de la marea predicha más baja en el período de 19 años. El uso del LAT se ha adoptado para el uso internacional por la Organización Hidrográfica Internacional (OHI). Los análisis armónicos han sido también utilizados para determinar otros Datums de Cartas. Los Datums de Cartas usados en algunas Cartas de Almirantazgo Británico eran de Nivel Medio de las Bajamares de Sicigias (MLWS) y Bajamares de Sicigias de la India (ISWL). Las MLWS y las ISLW se derivan de sumatorias de las amplitudes de varias componentes armónicas mayores bajo el Nivel Promedio del Mar local.

En lugares donde hay muy poca o ninguna marea, se utilizan otros datums de nivel de agua. En el Mar Negro, El Promedio del Nivel del Mar o el Nivel Promedio del Agua es usado. En los Grandes Lagos de Canadá y de los Estados Unidos se utilizan Datums de Bajamar (LWD) fijos para cada lago basado en el análisis de los promedios mensuales durante los estados de bajamar. En lagunas sin mareas y en bahías en la costa de los Estados Unidos donde el área transita de marea a sin marea, una LWD es utilizada la cual es determinada al restar 0.2 m de la Media Local del Nivel del Mar derivada de las observaciones y ajustada al período de 19 años.

Existe una variedad de Datums de Cartas empleados en ríos con marea. En los Estados Unidos, los Datums de las Cartas se han obtenido de los análisis de las mediciones durante los estadíos en que el río esta bajo en un período de tiempo y luego tomados para propósitos de cartografía. Ejemplos de estos son el Datum del Río Hudson y el Datum del Río Columbia derivados del MLLW basado en observaciones durante los estados de río más bajos durante el año.

El datum de nivel de agua es un plano local de elevación que se aplica solamente en el área específica donde se han hecho las mediciones de nivel. Bien sea de marea o de no marea, es permanentemente

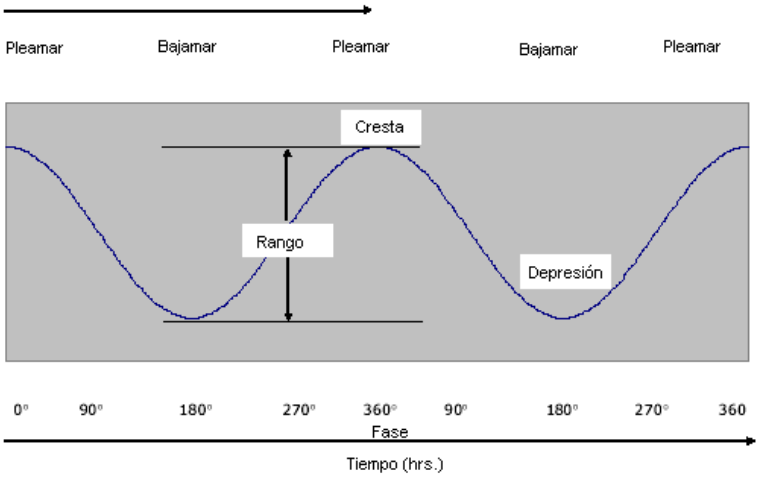
referido a la tierra al nivelar el medidor del nivel de agua a una red local de marcas de nivelación. Los procedimientos de cálculo para determinar los datums de marea son explicados luego en este capítulo. Los datums de Nivel de agua son completamente distintos a los datums geodésicos verticales. Por ejemplo, Los Estados Unidos y Canadá utilizan el Datum Vertical de norte América de 1998 (NAVD88) y el Datum de los Grandes Lagos Internacional de 1985 (IGLD85) como los datums verticales para propósitos geodésicos. La relación entre el NAVD88 (o del IGLD 85) y la media local del nivel del mar o la media del nivel de agua varía considerablemente de lugar en lugar. De hecho, es imposible transferir un datum de marea de un lugar a otro con el nivel geodésico, sin considerar las condiciones de marea locales. La red geodésica establece, sin embargo, las relaciones entre las muchas estaciones de marea y sus datums de elevaciones de marea alrededor del continente Norte Americano, y puede ser usado para recuperar un datum de marea local conectado si las marcas del banco de marea son destruidas, esto requiere de las conexiones de nivel o de las conexiones de GPS entre lar redes geodésicas de las marcas de nivelación de marea.

2.1.5 Análisis armónico y predicción de marea

Cada uno de los movimientos generadores de marea descritos en las secciones anteriores puede ser representado por una simple curva de coseno como se ilustra en la Figura 5.8., el eje horizontal representa el tiempo y el vertical representa la magnitud de la fuerza generadora de mareas. Las crestas muestran los tiempos de los máximos en la fuerza generadora de mareas y las depresiones las mínimas. Por ejemplo en la Figura 5.8, en el sistema Sol-Tierra, el medio día, con el Sol encima, es la primera cresta. Seis horas más tarde ocurre un mínimo en las depresiones. El segundo máximo es a la media noche con la segunda cresta. Otra depresión aparece al amanecer y luego se regresa a la cresta original del medio día.

Cada uno de los movimientos generadores de marea, representados por una simple curva de coseno, es conocido como un componente de marea, el componente de la marea o el componente armónico. Una letra o letras y normalmente un subtitulo se utilizan para denominar cada componente. El componente de marea descrito anteriormente, por ejemplo, llamado el componente semidiurno Solar Principal, es designado con el S_2. El componente semidiurno Lunar Principal es designado con el M_2. S es para el Sol y M es para la Luna, el $_2$ significa que hay dos ciclos de marea completos para cada ciclo astronómico. Entonces, se dice que éstas son componentes semidiurnas. Las componentes se describen por su período de marea (el tiempo entre máximos), **P.** El período del S_2 es de 12.00 horas solares (hr.) y el período de la M_2 es de 12.42 horas solares:

Velocidad (frecuencia), n = 360º/**P**
Período, P (hrs.)



Tomado de S. Hicks (2004)

Fig. 5.8 "La curva de marea visualizada como en forma de onda"

En el trabajo de las mareas, cada componente (curva coseno) es descrito con más frecuencia por su velocidad (o frecuencia en grados por hora). La curva coseno está dividida en 360º (desde cresta a cresta). La velocidad **n** de la componente es 360°/P. Por lo tanto, para S_2 es n = 360°/12.00 = 30º/hr; para M_2, n = 360º/12.42 = 28.984º/hr.

Existe un número infinito de componentes para describir casi todas las perturbaciones en los movimientos relativos del Sol, la Luna y la Tierra (incluyendo la distancia y los aspectos declinatorios) Sin embargo, después de cerca de 37, los efectos de esos movimientos al representar las mareas reales son extremadamente pequeños en la mayoría de las ubicaciones de los Estados Unidos. Para áreas de mareas complejas dentro de los estuarios, como los de Anchorage, Alaska, Filadelfia, y Pensilvania se toma más de cien componentes para describir adecuadamente la curva de mareas. Estos componentes adicionales son artefactos que combinan las componentes diurnas y semi diurnas fundamentales para producir componentes de alta frecuencia (de 3 a 13 ciclos al día) que tratan de describir los efectos no lineales complejos de la fricción del fondo marino y de las aguas poco profundas.

Las representaciones de los eventos astronómicos y del desarrollo de sus períodos y velocidades son esenciales al comprender las técnicas de análisis armónicas. El desarrollo de las aguas poco profundas de fricción y de las componentes compuestas de marea está fuera del alcance de este capítulo.

El componente semidiurno Principal Solar, S_2, representa la Tierra girando relativamente al Sol. La Tierra rota una vez en 24 horas solares promedio o ya que la vuelta alrededor del mundo es de 360º; va a una velocidad de 360º/24 = 15º hr. Sin embargo, existe un máximo en la fuerza de producción de marea solar bajo el Sol y otra vez en el lado opuesto (media noche). Entonces, el período (máximo a máximo) del componente es de 12 horas solares promedio y la velocidad es: S_2 360º/12 =30º hr.

El componente semidiurno Principal Lunar, M_2, representa la Tierra girando relativamente a la Luna. Ya que la Luna se mueve hacia el este, se toma 24.8412 horas solares promedio para tener la Luna encima. Otra vez, hay dos máximos en el día lunar, entonces el período es de sólo 124.206 horas solares promedio y su velocidad es: M_2 360º/12.4206 = 28.984º hr.

El S_2 y el M_2 entran en la fase (máxima de alineación) y fuera de fase (máxima de alineación de una con la mínima de otra) para producir mareas de sicigia y mareas de cuadratura, respectivamente (Figura 5.3). Las mareas de sicigia ocurren en los momentos de luna llena y de luna nueva mientras que las mareas de cuadratura ocurren en los momentos de primer y tercer cuarto de luna. La revolución de la Luna alrededor de la Tierra relativa la Sol toma 29.5306 días (llamado el mes sinódico o una lunación). Ya que hay dos máximas, las mareas sicigias ocurren cada 29.5306/2 = 14.765 días y las mareas de cuadratura ocurren cada 7.383 días después de las sicigias.

El componente semidiurno Elíptico Lunar mayor, N_2, y el componente semidiurno Elíptico Lunar menor, L_2, son dos componentes diseñadas para simular el ciclo del perigeo al perigeo. Estos son componentes completamente artificiales en contraste con las S_2 y M_2 que tienen relaciones realistas con las envolventes solar y lunar de las fuerzas generadoras de mareas. El perigeo al perigeo ocurre cada 27.5546 días (el mes anomalístico) o cada 661.31 horas solares promedio. La velocidad del perigeo al perigeo es de 360º/661.31= 0.544º/hr. Esto es un evento lunar y la velocidad de M_2 es de 28.984º/hr. Las velocidades de los componentes son, entonces:

N_2 28.984 – 0.544 = 28.440º/hr.
L_2 28.984 + 0.544 = 29.528º/hr.

Entonces, cuando N_2 y L_2 están en fase cada 27.5546 días (mes anomalístico) se suman al M_2 para simular la proximidad cercana de la Luna (perigeo). También, 13.7773 días después están fuera de fase simulando el apogeo (la luna a la distancia más lejana).

El componente diurno Luni-Solar Declinacional, K_1, y el componente diurno Lunar-Solar Declinacional Principal, O_1, son también componentes artificiales designados para estimular el ciclo de máxima declinación a la máxima declinación de la luna. El norte máximo al norte máximo ocurre cada 27.3216 días (mes tropical) o 655.72 horas solares promedio. Sin embargo, las declinaciones norte y sur producen el mismo resultado. El ciclo norte al sur (y del sur al norte) es 655.12/2 = 327.86 horas. La velocidad es de 360º/327.86 = 1.098º /hr. Las velocidades de los componentes, ya que ellos modifican M_2, serán la velocidad de M_2 más y menos la velocidad del ciclo norte y sur. Ya que el máximo se siente sólo una vez al día a medida que la tierra gira, las velocidades del componente son la mitad de la suma y la diferencia:

K_1 (28.984 + 1.098)/2 = 15.041º/hr.
O_1 (28.984 + 1.098)/2 = 13.943º/hr.

Entonces, cuando K_1 y O_1 están en fase, cada 13.6608 días (la mitad del mes tropical, es decir, el mes respecto al equinoccio vernal), suman al M_2 para simular la declinación máxima de la Luna norte o sur. Cuentan para la desigualdad diurna resultante de la Luna (las dos pleamar y/o las dos bajamar son desiguales en altura cada día lunar) y, en los extremos, las mareas diurnas (una pleamar y una bajamar cada día lunar)

El componente diurno Luni-Solar Declinacional, K_1, y el componente diurno Lunar-Solar Declinacional Principal, $\mathbf{P}_1$, están diseñados para estimular el ciclo de la declinación máxima a la máxima declinación del Sol. El norte máximo al norte máximo ocurre cada 365.2422 días (año tropical) o 8765.81 horas solares promedio. Sin embargo, las declinaciones norte y sur producen los mismos resultados. El ciclo norte al sur (y del sur al norte) es de 8765.81/2 = 4382.91 hrs. La velocidad es de 360º/4382.91 = 0.082º hr. Las velocidades de los componentes, a medida que modifican S_2, serán la velocidad de S_2 más y menos la velocidad del ciclo norte y sur. Como el máximo de siente sólo una vez a medida que la tierra gira, las velocidades del componente son la mitad de la suma y la diferencia:

K_1 (30.000 + 0.082)/2 = 15.041º/hr.
P_1 (30.000 + 0.082)/2 = 14.959º/hr.

Entonces, cuando K_1 y P_1 están en fase cada 182.62 días (la mitad del año tropical, es decir, el año con respecto al equinoccio vernal), suman a S_2 para simular la declinación máxima del Sol norte o sur. Estos componentes también contribuyen a la desigualdad diurna.

Las magnitudes teóricas relativas de los componentes son también de interés. Se debe recordar, sin embargo, que son calculados de las fuerzas generadoras de mareas y no son necesariamente los valores en las mareas observadas. Están basados en el valor, uno, para M_2, ya que M_2 es normalmente el componente dominante. Los valores de magnitud relativa, junto con los períodos de los componentes (360º/velocidad), son:

M_2	1.00	12.42 hrs.
S_2	0.46	12.00 hrs.
O_1	0.41	25.82 hrs.
K_1	0.40	23.93 hrs.
N_2	0.20	12.66 hrs.
P_1	0.19	24.07 hrs.
L_2	0.03	12.19 hrs.

2.1.5.1 Análisis armónico

El proceso matemático de obtener la amplitud y la fase de una componente a la vez a partir de una serie de tiempo observada se llama análisis armónico. Al conocer los períodos de los componentes, es posible retirarlos, garantizando que haya una serie lo suficientemente larga. Generalmente, es

preferible un año pero un mes puede dar resultados adecuados con las mareas semi diurnas dominantes. Los análisis estándar están hechos para 37 componentes por parte de los Estados Unidos., aunque muchos de ellos pueden ser muy pequeños en muchas de las estaciones.

De un análisis armónico de las series de nivel de agua observada, se obtiene dos valores para cada componente de marea. La Amplitud, distancia vertical entre el nivel promedio de marea y el nivel de la cresta (cuando se grafica como una curva de coseno) es uno de los valores. El otro es el retardo de fase (Epoca). El retardo de fase es la cantidad de tiempo que pasa desde el evento astronómico máximo al primer máximo de su correspondiente componente de marea. Usualmente es expresado en grados de una curva coseno completa (360º) de ese componente. Estos dos valores se conocen como las constantes armónicas y están ilustradas en la Figura 5.9. Se debe recordar que estas son únicas para la ubicación de la estación particular de la que se derivan. También, las constantes armónicas son tratadas como una constante aunque en el estricto sentido no lo son porque los valores calculados son afectados por el ruido en la señal, la longitud de las series analizadas, etc. Las constantes aceptadas que son utilizadas son consideradas los mejores estimaciones de los valores actuales (desconocidos). Cuando cualquier evento natural o proyecto de ingeniería ocurre, como una erosión, deposición, una draga o una construcción de rompeolas, que tiene el potencial de causar alteraciones mayores en la topografía adyacente se deben hacer nuevas mediciones y nuevos análisis armónicos.

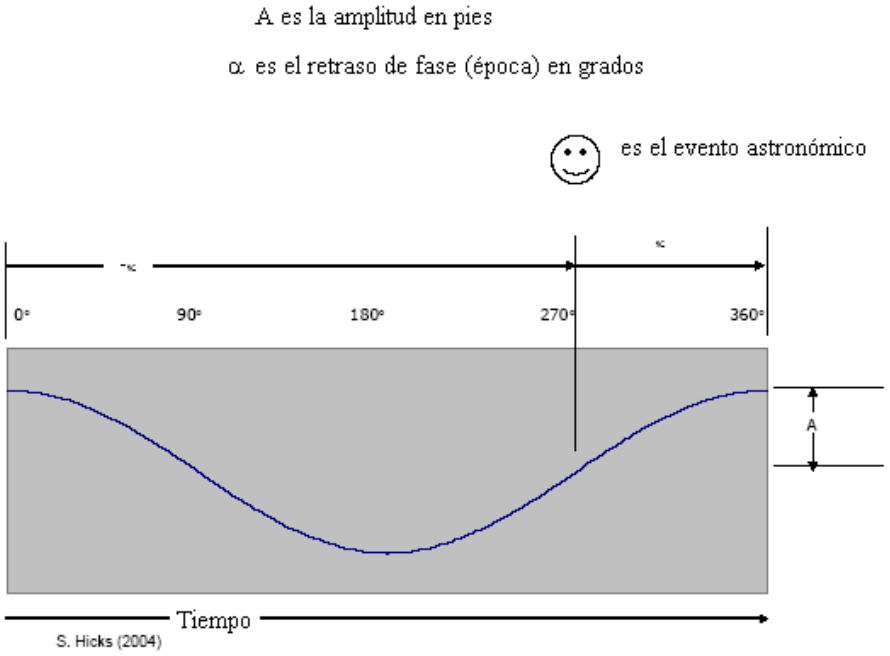


Fig. 5.9 "La amplitud y el retraso de fase del componente armónico"

2.1.5.2 Predicción de mareas

Para predecir las mareas, digamos para un año calendario, es necesario conocer las constantes armónicas (amplitudes y retrasos de fase) para los componentes de cada ubicación para las que desee hacer las predicciones. Estas se obtienen de análisis armónicos de la marea observada en cada estación descrita anteriormente. Los ajustes se hacen para las configuraciones astronómicas al principio del año. Conociendo el retraso de fase de cada componente de los análisis armónicos, el primer máximo de cada curva coseno ocurre después del evento por la cantidad de su retraso de fase. La amplitud de cada curva coseno es la encontrada desde el análisis armónico.

Finalmente, a cada hora del año, las alturas de todas las curvas coseno son sumadas. Cuando se grafica, la curva resultante es normalmente muy similar (en forma y tamaño) a la curva original observada.

Las fechas de ocurrencia y las alturas de las pleamares y de las bajamares son consideradas predicciones para el año siguiente, el vasto número de predicciones es posible al aplicar las correcciones de aquellas estaciones para los que las constantes han sido determinadas – Las Estaciones de Control Primarias (Estaciones de Referencia). Las estaciones subordinadas (aquellas sin constantes armónicas) se refieren a sus Estaciones de Referencia cercanas por las constantes empíricas. Entonces, las predicciones son obtenidas también para estas Estaciones Subordinadas.

El tipo de marea en una ubicación dada es mayormente una función de las declinaciones del Sol y de la Luna. Las declinaciones están constantemente variando de manera que el tipo de marea cambia durante el mes y el año en muchas ubicaciones. Un sistema de clasificación más riguroso está disponible al usar las amplitudes de los componentes mayores de cada ubicación. Cuantitativamente, donde la razón de las amplitudes de las componentes (K_1 +O_1) sobre (M_2 +S_2) es menor que 0.25, la marea se clasifica como semi diurna; donde la razón es de 0.25 a 1.5, la marea es mixta mayormente semi diurna; donde la razón es de 1.6 a 3.0, la marea es mixta mayormente diurna; y donde la relación es mayor que 3.0, es diurna.

Las características de la desigualdad diurna y su variación quincenal se pueden explicar al considerar la combinación de los componentes diurnos y semidiurnos que resultan de las fuerzas de producción de mareas diurnas y semi diurnas. Como se representa en la Figura 5.10, donde el componente semidiurno está representado por una línea de puntos y el componente diurno está representado por la línea pespunteada, la marea resultante, mostrada por la línea completa es claramente la suma de los dos componentes.

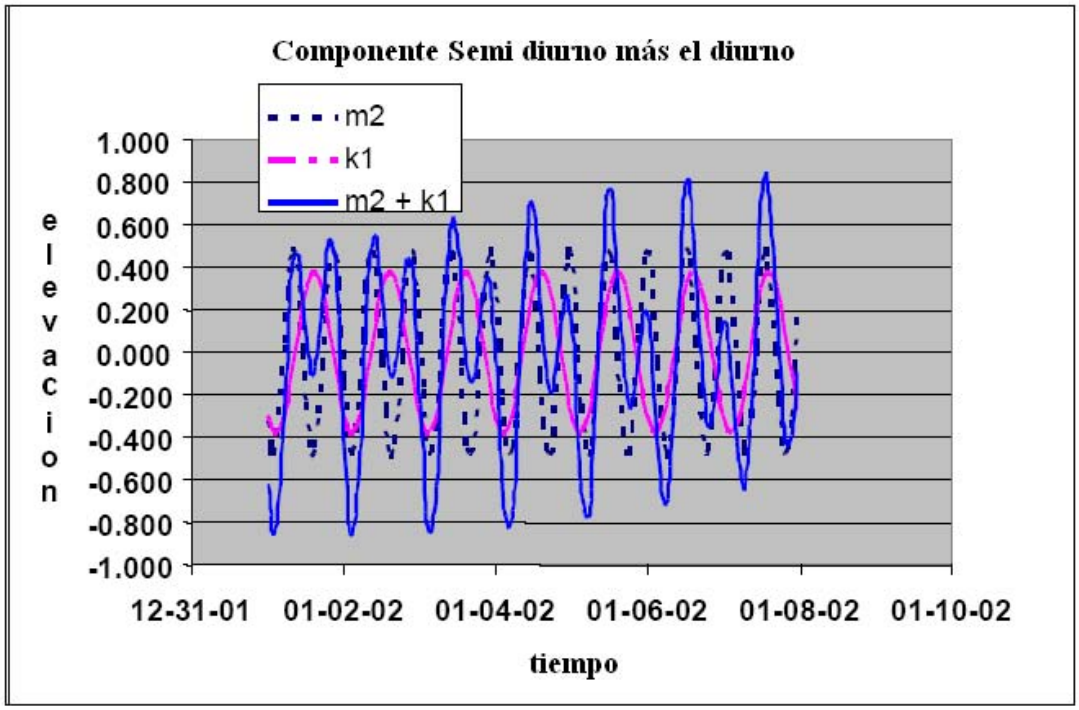


Fig. 5.10

Los rangos relativos de los componentes en cualquier ubicación, así como los tiempos relativos de los dos componentes, dependen no sólo de la magnitud relativa y de la fase de las fuerzas productoras de mareas sino también de las características hidrográficas de la cuenca de marea y del área local. Por esta razón, las mismas fuerzas productoras de marea pueden dar resultado a distintos tiempos relativos y rangos de los componentes diurnos y semidiurnos en diferentes lugares. La Figura 5.10 muestra el simple caso donde los rangos de dos componentes son iguales, pero el tiempo relativo de las altas y bajas varía. En cada caso, hay una desigualdad diurna considerable, pero hay profundas diferencias en la fase de la marea que muestra la desigualdad. En el diagrama de arriba, donde las bajamares ocurren

al mismo tiempo, la desigualdad diurna es mostrada en las bajamares. Y en el diagrama de más abajo, donde los dos componentes están en el nivel del mar promedio al mismo tiempo, la desigualdad es mostrada de igual forma en las altas y las bajas. Estos tres diagramas muestran las tres clases generales en las que la desigualdad diurna de las alturas de marea es agrupada.

En mareas que ocurren en la actualidad, no sólo los tiempos de los componentes tienen diferentes relaciones, sino que los rangos de los dos componentes también difieren. Refiérase al diagrama de más abajo en la Figura 5.10. Si el rango de este componente semidiurno (línea de puntos) permanece como se muestra, pero el rango del componente diurno (línea pespunteada) se hace más grande, se puede ver que la bajamar más baja será más baja, y la bajamar más alta será más alta. Cuando el rango del componente diurno se vuelve el doble del componente semidiurno, la pleamar más baja y la bajamar más alta serán igual a la altura, resultante una marea que tiende a desaparecer. A medida que el rango del componente diurno aumenta más, sólo habrá una pleamar y una bajamar en un día, una marea diurna. Combinando los efectos de tiempo y rango, se convierte en que si el rango del componente diurno es menor que 2 veces el del componente semidiurno, habrá dos pleamares y dos bajamares diariamente, si el rango diurno es de entre 2 y 4 veces el semi diurna puede haber dos pleamares y dos bajamares o puede haber sólo una pleamar y una bajamar en un día, y si el rango diurno excede 4 veces el semidiurno, sólo una pleamar y una bajamar ocurrirá en un día.

Se debe notar que las magnitudes de ambas fuerza diurna y semi diurna varían durante un mes, las anteriores son las más grandes en la declinación máxima norte y sur, la última alcanzando el máximo cuando la Luna está sobre el Ecuador. La marea en un lugar dado, por lo tanto, exhibe los grados variantes de desigualdad dentro de cualquier período de dos semanas.

En realidad, existen más de 70 componentes de marea que se combinan para producir la marea resultante. De estos, hay cuatro componentes semidiurnos mayores y tres componente diurnos mayores que son combinados en los componentes semidiurno y diurno de la Figura 5.11.

Cada componente es basado en el movimiento de la Tierra, la Luna y el Sol, o la combinación de ellos. El componente más importante completan su ciclo en un mes y todo las componentes, hasta las más insignificantes, completan su ciclo en 18,6 años aproximadamente. El período de 19 años de operación requerido para ser designado como una estación de marea primaria está basada en este horario. El período de 19 años completos se utiliza más que el ciclo de 18,6 años, ya que las variaciones de estaciones son a veces más grandes que algunos de los componentes astronómicos menores.

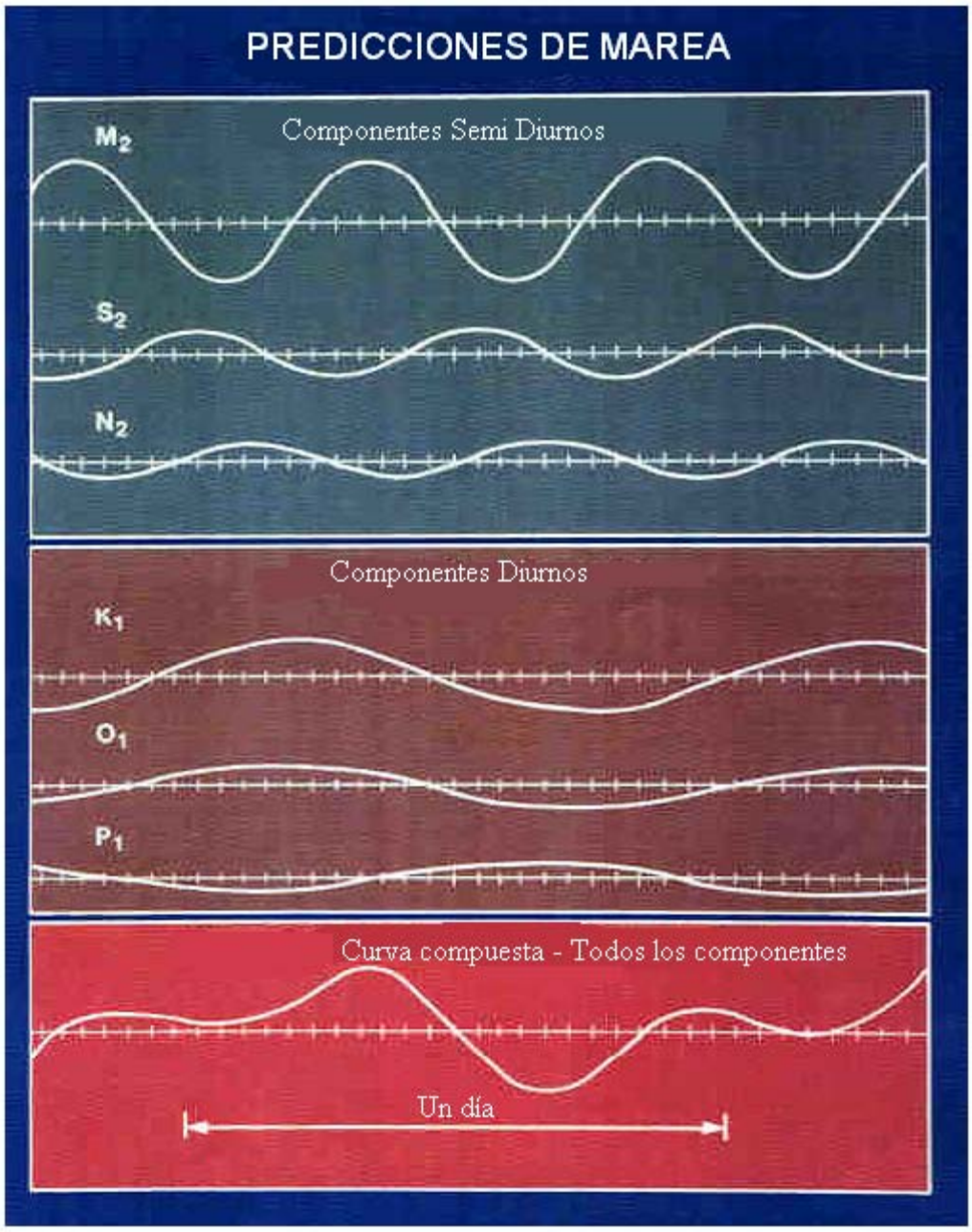


Fig. 5.11

2.2 Funciones de apoyo operacional

Esta sección cubre los requerimientos del nivel del agua y del datum vertical para el apoyo operacional de los levantamientos hidrográficos. El propósito de este apoyo está resumido en las siguientes áreas funcionales:

a. nivel de marea y de agua requerido en la planificación;
b. desarrollo preliminar de la zonificación del nivel de agua o marea;
c. Operación del control de la estación de nivel de agua;
d. Instalación, operación y retiro de la estación de nivel de agua suplementaria;
e. Control de calidad de los datos, procesado y tabulación;
f. Calculo del datum de nivel de agua y de marea y recuperación del datum;
g. Generación de los reductores de nivel de agua y zonificación final de marea.

2.2.1 Consideraciones de error calculado

Los reductores de nivel de agua pueden ser un corrector importante para los sondeos para reducirlos relativamente al datum de la carta particularmente en áreas de aguas poco profundas con relativamente altas amplitudes de marea. Los errores asociados con los reductores de nivel de agua deben ser calibrados con otros errores de sondeo para asegurase que el calculo total de error no se exceda. La contribución permitida de error para las mareas y los niveles de agua para el error total calculado del levantamiento típicamente está entre .20 m y 0.45 m dependiendo de la complejidad de las mareas.

El error total de las mareas y de los niveles de agua puede ser considerado como que tiene los componentes de error de:

a. El error de medición del calibrador/sensor y el error de proceso para referir las medidas a la estación de referencia. (Ver IHO S-44 5a edición 2008 Capitulo 3) El error de proceso también incluye el error de interpolación del nivel de agua en el momento exacto de los sondeos. Un estimado de un error de proceso típico es de 0.10 m en el 95% del nivel de confianza.

b. El error de cálculo de los primeros datums de reducción de marea y para el ajuste de los períodos de 19 años para las estaciones de corto plazo. A medida que las series de tiempo son más cortas, es menos exacto el datum, es decir, el error es más grande. Una estación de control inapropiada también disminuye la exactitud. La NOAA ha determinado que el error estimado del datum de marea ajustado basado en un mes de datos es de 0.08 m para las costas del Atlántico y del Pacífico y de 0.11 para las costas del Golfo de México (en el 95% de nivel de confianza).

c. El error en la aplicación de la zonificación de la marea. La zonificación de marea es la extrapolación y/o la interpolación de las características de marea desde un(os) punto(s) conocido(s) en la orilla hasta un área de levantamiento deseada usando diferencias de tiempo y cocientes de amplitud. A mayor extrapolación/interpolación, mayor será la incertidumbre y el error. Los estimadores de error típico asociados con la zonificación de marea son 0.20 m a un nivel de confianza de 95%. Sin embargo los errores para esta componente pueden exceder fácilmente los 0.20 m si las características de la marea son muy complejas, o no muy bien definidas, y si hay efectos de meteorología diferenciales definidos en los niveles de agua a lo largo del área de levantamiento.

2.2.2 Planificación de los requerimientos del nivel de agua y marea

La planificación del apoyo de nivel de agua y marea para los levantamientos hidrográficos requiere la atención para cada una de las siete áreas funcionales listadas anteriormente. En el contexto de la operación de levantamiento completa y de la generación del producto final, la planificación incluye:

a. La determinación de todo el cálculo de error:
b. El estudio de las características del nivel de agua y marea y del medio ambiente meteorológico y oceanográfico;
c. La determinación de cuales estaciones de control usar y cual control vertical existente está en el área, ubicación, logística y período de tiempo de las estaciones de nivel de agua a corto plazo y el equipo incluyendo, GPS y los conectores de datum geodésico.
d. Construcción de los esquemas de zonificación;
e. Desarrollo de la colección de datos operacional, control de calidad y procesado de datos y funciones de análisis;

f. Desarrollo de la zonificación final y de los procedimientos de determinación de datum, la aplicación de los reductores de nivel de agua para las hojas hidrográficas y la estimación del cálculo final de error.

La planificación de proyecto intenta minimizar y balancear estos tipos de error potenciales a través del uso y la especificación de los registradores precisos de nivel de agua, la optimización de la mezcla de zonificación requerida, el número de localización de estaciones requerido y la longitud de las observaciones requeridas dentro de límites prácticos del área de levantamiento y de la duración del levantamiento. Los límites prácticos dependen de las características de marea del área y lo apropiado a la línea de costa para la instalación y la operación de los registradores apropiados de nivel de agua.

El hidrógrafo debe planificar las operaciones para asegurar la colección de series de datos continuas y válidas. Cualquier rompimiento en la serie de medición del nivel de agua afecta la precisión de los cálculos del datum. Las interrupciones en los datos también dan resultado al incremento de error en los reductores de marea cuando la interpolación es requerida para dar los datos al momento de los sondeos. En un sitio de medición crítico donde los datos de medición del nivel de agua no pueden ser transmitidos o monitoreados durante las operaciones hidrográficas, un sensor independiente de respaldo o un sistema de colección de nivel de agua redundante debe ser instalado y operado durante el proyecto.

La ubicación de las estaciones de marea está seleccionada para cumplir con dos grupos de criterios. Primero, la cobertura adecuada, las estaciones deben ser suficientes en número y apropiadamente distribuidas para mostrar precisamente el régimen de nivel de agua y marea para el área de levantamiento. Segundo, los sitios específicos deben ser apropiados para la medición precisa del rango completo de los niveles de agua experimentados.

La densidad y la distribución de los registradores de marea dependen de los cambios en las características del nivel de agua (usualmente de marea) del área estudiada. La medición de la marea es generalmente planificada para identificar cada cambio de 0.1 m en la amplitud para áreas de 3 m o menos de amplitud de marea, cada 0.2 m de cambio en amplitud para áreas con más de 3 m de amplitud de marea y para identificar cada 0.3 de cambio de hora en el intervalo Greenwich.

Al determinar los requerimientos de la cobertura, las características de marea son primero evaluadas en un sentido geográfico general. El tipo de marea y los cambios en el tipo (semidiurno, diurno, o mixto) son analizados. La fuente desde la que la marea avanza en el área es determinada y la fuerza de la marea es evaluada relativamente a las influencias estaciónales y meteorológicamente localizadas. Las áreas de transición de los regimenes de marea y no-mareal son particularmente importantes, ya que las áreas de régimen no-marea reciben un tratamiento diferente para la determinación del datum de bajamar.

Luego, las características de marea son evaluadas en un contexto geográfico localizado. Los cambios complejos ocurren a la marea a lo largo de entradas poco profundas, pantanos extensos y constricciones angostas. Las lagunas pueden cortar la corriente de la marea en la bajamar y el flujo constante de un río afecta la marea en todos los estados. En bahías grandes de comparativamente baja profundidad teniendo una amplitud pequeña de marea, el viento tiene un efecto considerable en el tiempo y en la altura de la marea. Esto es también cierto en estrechos de ríos o largas costas donde el agua es baja. La influencia del hombre como en mamparos, en las dragas, diques, recepciones tomas hidroeléctricas y en las prácticas de administración del nivel de agua pueden tener distintos impactos.

Luego de este análisis, las ubicaciones aproximadas de las estaciones son definidas. Las estaciones son requeridas usualmente en ambos lados de unos impedimentos importantes a la corriente marina, en intervalos frecuentes en cada área de costa y en los alcances altos angostos de las riveras de marea; en la cabecera de la navegación o el límite del levantamiento de todos los ríos y riachuelos; y en ambos lados de las transiciones desde la marea a la no-marea o entre las mareas diurnas, mixtas y semi diurnas. El área de levantamiento es usualmente encerrado con estaciones para que la

extrapolación de los reductores del nivel de agua no es requerido. Cuando se estudia aproximaciones de canal expuestos donde las profundidades no son más grandes que el calado de las naves, los datos del nivel de agua dado de un registrador a bordo puede no ser lo suficientemente preciso para la reducción de los sondeos. En dichos levantamientos, una estación temporal en una estructura costa afuera puede ser muy deseable. También, la cobertura del solapamiento es normalmente planificada, para que al menos dos estaciones estén operando para cualquier porción dada en el área de estudio. Este solapamiento ayuda a la interpolación de los propósitos de la zonificación y da algunos datos de respaldo en caso que un registrador no funcione apropiadamente.

En muchos casos, la información histórica esta disponible para ayudar a la planificación de la cobertura del nivel de agua. La información de la estación primaria y secundaria, así como los datos del nivel de agua y marea de estudios hidrográficos anteriores, dan buenas indicaciones de cuanto y de aproximadamente donde se necesitan las estaciones de marea para un nuevo levantamiento. Donde no exista información histórica el planificador debe estimar los requerimientos por el análisis de datos para las áreas cercanas con características fisiográficas similares. En estas situaciones, es prudente errar en el sitio de demasiadas estaciones en vez de ser incapaz de dar control satisfactorio para el área completa de levantamiento. Los sondeos adquiridos con insuficiente control de marea no pueden ser corregidos con los datos de los registradores instalados después del levantamiento.

2.2.3 Zonificación preliminar de nivel de agua y marea

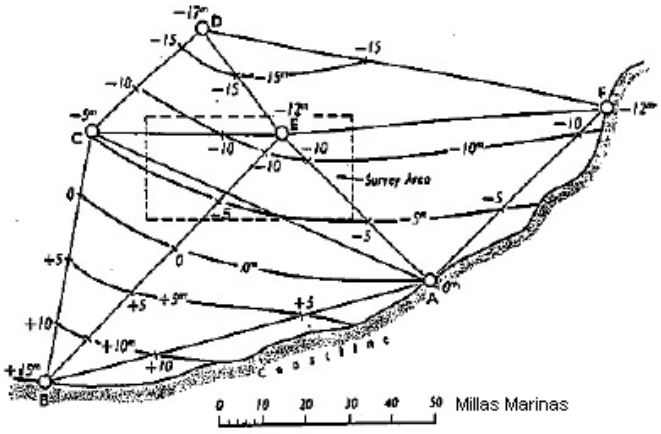
La zonificación de nivel de agua y marea es una herramienta utilizada para extrapolar e interpolar la marea o las variaciones de nivel de agua desde la estación de nivel de agua más cercana al área de levantamiento. En muchos casos, la interpolación o la extrapolación no es necesaria y los factores de corrección de nivel de agua son dados directamente del registrador de nivel de agua referenciado al Datum de la Carta. En la mayoría de los casos, las estaciones existentes no están cerca del área de estudio o no se pueden instalar las suficientes estaciones de nivel de agua en un sentido práctico para darle control a todas partes. Los errores estimados en la extrapolación y la interpolación de los niveles de agua deben estar balanceados con el error total estimado. A mayor cantidad de estaciones que puedan ser instaladas en el área de estudio, menor error de zonificación. A mayor cantidad de estaciones requeridas, mayor costo y complejidad logística de las operaciones.

Las técnicas descritas anteriormente proporcionaran los factores de corrección en la vecindad inmediata de una estación de marea. En muchos casos, el área de estudio estará entre dos o más estaciones, cada cual tiene una diferente amplitud de marea. En estas situaciones, los factores de corrección del área intermedia deben ser interpolados en las zonas de corrección de las estaciones cercanas. En la mayoría de los casos, la zonificación derivada de las mareas predichas será adecuada para este propósito. Sin embargo, si la zonificación predicha no está disponible o se ha demostrado que es incorrecta, el hidrógrafo puede preparar cartas cotidal o de isoamplitud en el campo desde los niveles de agua preliminares.

Una carta cotidal contiene líneas de iguale intervalos lunitidales con respecto a Greenwich. Para la zonificación en el campo, las cartas cotidales son usualmente dibujadas para mostrar líneas de igual tiempo de altura o de bajamar antes o después del tiempo relevante en una estación de marea de referencia.

Las cartas de isoamplitudes contienen líneas de igual amplitud de marea. Para el uso en el campo, las líneas son usualmente marcadas con razones relativos a la estación de referencia. Estas relaciones con el registrador de referencia facilitan de esta forma la preparación de los factores de corrección en la manera. Las figuras 5.12 y 5.13 son ejemplos de las cartas cotidales y de isoamplitud de una bahía hipotética en la que el levantamiento se está haciendo.

CONSTRUCCION DE UNA CARTA COTIDAL CON CURVAS DE TIEMPO



CONSTRUCCION DE UNA CARTA COTIDAL CON CURVAS DE AMPLITUD

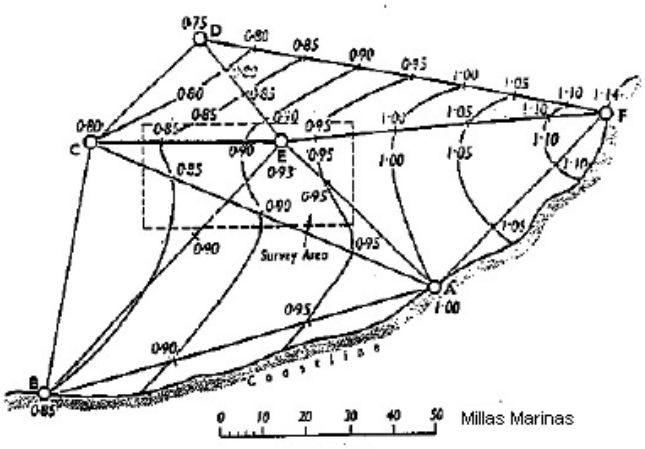


Fig. 5.12 and 5.13

Carta Cotidal – las cartas cotidales están generalmente construidas usando herramientas de dibujo GIS. El siguiente es un simple manual de ejemplo para ilustrar algunos de sus fundamentos. Para construir una carta cotidal, el hidrógrafo debe delinear la estación de referencia y todas las estaciones de marea secundarias, terciarias y de corto plazo en el área de estudio. Para mejores resultados, el área de estudio debe estar dentro de un triángulo equilátero o un cuadrilátero formado por las estaciones de marea. Para cada estación el tiempo de llegada de la pleamar y de la bajamar es anotado antes o después del tiempo de llegada a la estación de referencia. En algunos casos, las diferencias de tiempo son las mismas para la pleamar y la bajamar.

Para simplificar, este caso está mostrado en la Figura 5.12. , en muchos casos, sin embargo, las cartas cotidales separadas para pleamar y bajamar son requeridas. Las estaciones adyacentes y opuestas se conectan con líneas rectas. Intervalos periódicos a lo largo de cada línea son entonces interpolados y marcados. Los segmentos de tiempo utilizados dependen de la amplitud de marea y de la precisión deseada para los reductores. Para la mayoría de las áreas, 10 min. es un intervalo apropiado para seleccionar. Las marcas de intervalo correspondientes a lo largo de cada línea están conectadas con una curva leve como se muestra en la Figura 5.12. Cuando dos puntos interpolados entran en

conflicto, se le da preferencia a la marca a lo largo de la línea más corta y a las marcas en las líneas que las curvas interceptan más cerca de la perpendicularidad. En muchos casos, las áreas de estudio son tan complejas que dibujar líneas de interpolación en las estaciones conectores no es práctico y las líneas cotidales son ubicadas por el oceanógrafo usando herramientas GIS.

Cartas de Isoamplitud – Como se muestra en la Figura 5.13, la carta es diseñada como en la carta cotidal. En vez de tiempos se anotan las amplitudes de marea y la razón de amplitud a la estación de referencia. Cada línea de conexión es interpolada por incrementos, normalmente de 0.1 m de amplitud o el incremento de razón equivalente. Líneas suaves de isoamplitud son entonces dibujadas a través de los puntos correspondientes en cada línea, dando prioridad en la misma manera de las líneas cotidales.

Cartas de Zonificación – La carta de zonificación está construida al sobreponer la carta cotidal en la carta de isoamplitud. El hidrógrafo puede entonces seleccionar las regiones para aplicar los correctores de amplitud y de tiempo a la estación de referencia de altura y tiempo. Al revisar las figuras 5.12 y 5.13 se revelará que las líneas cotidales y las de isoamplitud no son paralelas. Esta diferencia en orientación es típica en la mayoría de las áreas y casi siempre resultan en zonas correctoras de forma irregular que no pueden ser operacionalmente eficientes. Para los propósitos de simplificar los correctores de campo preliminares, sin embargo, el hidrógrafo puede ajustar el tamaño y la forma de las zonas y acomodar la situación operacional. Por ejemplo, si un sistema de sondeo de líneas este-oeste estuviera planificado, podría ser más eficiente para alterar las zonas en bandas este-oeste a lo largo de la bahía. Se convierte en un problema de juicio al balancear las consideraciones operacionales con la necesidad de exactitud y precisión. Sin importar la zona seleccionada por el hidrógrafo en el campo, sin embargo, la zona final estará basada en un análisis completo de los niveles de aguas observados y serán designados para máxima precisión.

Zonificación Costa Afuera – Cuando es imposible, como para los sondeos costa afuera, encerrar un área de estudio con las estaciones de marea, las zonas de nivel de agua deben ser seleccionadas con consideraciones más teóricas... Cuando la plataforma continental es extensa y la onda de marea se aproxima paralela a la orilla, como lo hace en la mayor parte de la costa este de los Estados Unidos, la marea llegará costa afuera antes que costa adentro. En otras costas, como en la costa oeste de los Estados Unidos, la onda de marea es casi perpendicular a la orilla con el tiempo mínimo diferencias costa afuera de amplitud. Para los factores de corrección de sondeo de costa afuera, los estimados de tiempo y las correcciones de amplitud a ser aplicadas a las estaciones de marea costeras pueden ser hechos de cartas cotidales existentes o de modelos de marea oceánica existentes.

2.2.4 Operación de la estación de control de nivel de agua

Las estaciones de control de nivel de agua son aquellas que ya han aceptado datums calculados para ellas y que están típicamente en operación durante el levantamiento. Estas pueden ser operadas por la agencia o el país que ejecuta el levantamiento o mantenidas por otra entidad. Estas estaciones de control son típicamente utilizadas como referencias para la predicción de mareas, como recursos directos de los factores de corrección de nivel de agua durante las operaciones de levantamiento, como recurso de control de datos a los que los correctores de zonificación son aplicados y controlan la comparación simultánea con estaciones de corto plazo para la recuperación de datums o la determinación de datums. Estas estaciones de control de largo plazo son usualmente parte de la red de estaciones de mareas y de nivel de agua nacional de la nación.

2.2.5 Requisitos para estaciones de nivel de agua suplementarias

Estas estaciones son utilizadas para dar datos de series de tiempo durante las operaciones de levantamiento, las referencias de datum de marea y la zonificación de marea que influyen en la producción de factores de corrección finales de nivel de agua para áreas específicas de levantamiento. Las ubicaciones de las estaciones y los requisitos pueden ser modificados luego del reconocimiento de la estación o a medida que las operaciones del levantamiento progresan.

La duración de la adquisición de los datos continua debe ser de un mínimo de 30 días excepto para las zonas de calibración. La adquisición de los datos es de al menos 4 horas antes de comenzar las operaciones del levantamiento hidrográfico hasta 4 horas después de terminar las operaciones de levantamiento hidrográfico y/o la verificación de la línea de la costa en las áreas donde se aplica. Las estaciones identificadas como estaciones de “30 días” son las principales estaciones subordinadas para el establecimiento del datum, contando con que los reductores de marea para un proyecto dado y para el análisis armónico del que se obtienen las constantes armónicas para calcular la predicción de marea. En estas estaciones, los datos deben ser recolectados a través de un período de estudio completo en áreas específicas para las que se han solicitado y no menos de 30 días continuos se necesitan para la determinación del datum de marea preciso. Adicionalmente, los registradores suplementales o de respaldo pueden ser también necesarios basados en la complejidad de las hidrodinámicas y/ o la severidad de las condiciones ambientales del área del proyecto.

La instalación de una estación de medición suplemental completa de nivel de agua constituirá de lo siguiente:

a. La instalación del sistema de medición de nivel de agua (sensores de nivel de agua, sensores auxiliares de medición (si se requieren), una Plataforma de Recolección de datos (DCP) o un registro de datos y un transmisor satelital (si está instalado) y la estructura de apoyo para el DCO y el sensor, y una escala de mareas (si se necesita).

b. La recuperación y/o instalación de un número mínimo de marcas de nivelación y una conexión de nivel entre las marcas de nivelación y los sensores de nivel de agua y la escala de marea según sea apropiado para la instalación y el desmontaje de los registradores. Las mediciones del GPS estático debe ser hecha a un subconjunto de las marcas de nivelación.

2.2.5.1 Sistemas de medición de nivel de agua

2.2.5.1.1 Plataforma de recolección de datos y sensor de nivel de agua

Varios tipos de sensores de nivel de agua y de configuraciones de estaciones son posibles. Hay varios tipos de sensores de nivel de agua que son usados por varios países para apoyar los levantamientos hidrográficos. Los Estados Unidos utilizan sensores acústico como registrador principal y sensores digitales de presión a gas (burbujas de nitrógeno) para el control del registrador principal y como estación suplementaria, ver la Figura 5.14. Muchos otros tipos de sistemas con flotadores o de presión interna no ventilados son utilizados alrededor del globo.

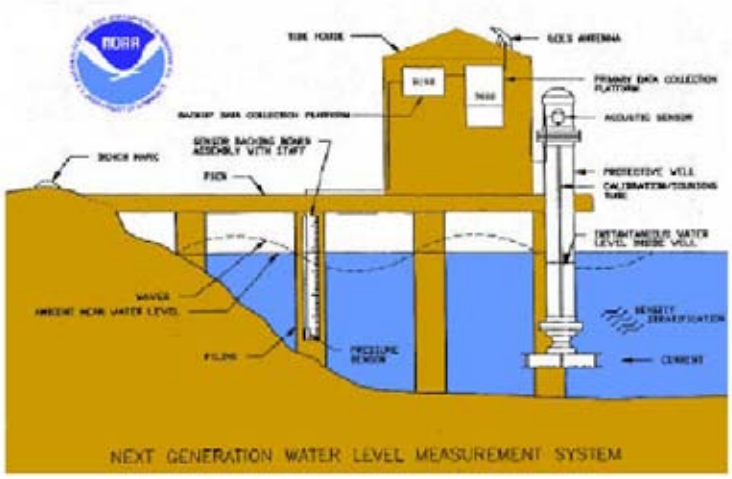


Fig. 5.14

La amplitud de medición del sensor debe ser mayor a la amplitud esperada del nivel de agua. Los sistemas de sensores o registradores deben estar calibrados antes del estudio y la calibración debe ser revisada antes de retirarla de las operaciones. La precisión estándar de la calibración debe ser verificable con las normas nacionales o internacionales. La resolución de los sensores de nivel de agua requerida es una función de la amplitud de marea del área en la que los estudios hidrográficos son planificados. Para amplitudes de marea menores o iguales a 5 m la resolución del sensor de nivel de agua debe ser de 1 mm o mejor; para la amplitud de marea entre 5 m y 10 m, la resolución del sensor de nivel de agua requerido debe ser de 3 mm o mejor; y para una amplitud de marea mayor a 10 m, la resolución del sensor del nivel de agua requerido debe ser de 5 mm o mejor que éste.

Los sistemas de adquisición de datos deben adquirir y guardar las mediciones de nivel de agua en períodos de tiempo requeridos para la tabulación de las variaciones importantes en los niveles de agua. Para las mareas, Los Estados Unidos usan 6 minutos de intervalos para asegurar que la tabulación de la pleamar y la bajamar estén lo más cercanas a la décima de una hora. Otros intervalos de muestreo pueden ser apropiados para los lagos y las áreas sin mareas, aunque el intervalo de muestra debe ser suficientemente corto para medir la acción del seiche. Muchos sensores emplean intervalos de muestro de altas velocidades para luego dar un informe sobre los datos de la muestra observada. Los sistemas de NOAA usan un promedio de 3 minutos de muestreo de mayor frecuencia en los sensores para derivar puntos de 6 minutos de intervalo de datos. Los patrones de muestra estadística y de desviaciones estándar son entonces utilizados como parámetros de control de calidad. Los registros de datos de nivel de agua deben tener una precisión de reloj dentro de un minuto al mes. Conociendo las fuentes de error para cada sensor será manejado apropiadamente a través de mediciones auxiliares y/o algoritmos de corrección. Los ejemplos de dichos errores son las variaciones de la densidad de agua para los registradores de presión, la corrección de presión barométrica para los sistemas no ventilados, las diferencias de temperatura de aire en el sondeo para los sistemas acústicos y la alta frecuencia de la acción de la ola y las corrientes de la más alta velocidad de todos los tipos de sensores.

Para las aplicaciones del datum de marea, es importante que los sensores y registradores estén cuidadosamente mantenidos con la revisión de calibración frecuente o cambios de ciclo de los sensores calibrados para las instalaciones de largo plazo. El sensor “cero” debe ser relacionado precisamente con la escala de marea y/o las marcas de nivelación a través de comparaciones entre la escala de marea y el medidor o directamente la nivelación entre el sensor y las marcas de nivelación. La estabilidad vertical del “cero” del sensor física e interna, debe ser monitoreada y cualquier movimiento tomado en cuenta en la reducción de los datos y en el cálculo del datum.

El hidrógrafo debe instalar un mareómetro en la estación si la medida de referencia de un sensor (cero en el calibrador) no puede ser directamente nivelado a las marcas de nivelación local, es decir, el orificio se encuentra sobre el fondo marino en el caso de los registradores de presión a base de burbujas. Aunque el calibrador pueda ser nivelado directamente, las lecturas del mareómetro son requeridas aún para la evaluación de las variaciones en el desempeño del calibrador debido a las variaciones de densidad en la columna de agua en el tiempo. El mareómetro debe ser montado independientemente al sensor de nivel de agua para que la estabilidad del mareómetro o los sensores se mantenga. El mareómetro no debe montarse en el mismo lugar donde se monte el sensor de nivel de agua. El mareómetro debe ser verticalizado. Cuando se unan dos o más escalas de mareómetro para formar uno mayor, el hidrógrafo debe tener extremo cuidado para asegurar que la precisión de el mareómetro a toda su longitud. El desnivel entre el cero de la regla y el soporte del sensor debe ser medido cuando se instalan y cuando se levanta la estación dejando constancia de los resultados en las planillas de documentación.

2.2.5.1.2 Escala o Regla de Marea

En áreas de gran amplitud de marea y playas de gran pendiente (como en Cook Inlet y en el Golfo de Maine), la instalación y mantenimiento de la escala de marea puede ser extremadamente difícil y costosos. En estos casos, la instalación física de las escalas de marea puede ser sustituida por la

nivelación sistemática de la orilla del agua a la marca de nivelación más cercana. La marca de nivelación se convierte en la “referencia altimétrica” y la diferencia de elevación de la orilla del agua se convierte en la “lectura de la escala de marea”.

Cuando se utilizan los sensores de presión, por ejemplo, una serie de comparaciones entre mareógrafos y escalas de marea en una porción importante de un ciclo de marea debe ser requerida al comienzo, con intervalos frecuentes durante el despliegue y al final de éste.

Las observaciones de las escalas de marea y los mareógrafos al comienzo y final del despliegue debe ser al menos cada tres horas y las observaciones periódicas durante el despliegue debe ser de una hora.

En general, el mareógrafo y la escala de marea deben leerse simultáneamente y grabados una vez al día (mínimo tres días de un período de siete) durante toda la duración de la medición del nivel de agua. El promedio de las diferencias entre la escala de marea y el mareógrafo debe ser aplicado a las medidas de nivel de agua para relacionar los datos al “cero” de la escala. Las comparaciones frecuentes entre la escala de marea y el mareógrafo (al menos tres veces a la semana y ocho al mes) durante el despliegue debe ser requerida para ayudar a asegurar la estabilidad de la medida y para minimizar los errores de procesado. Un alto número de lecturas independientes de la escala de marea disminuye la incertidumbre de transferir las medidas a la estación de referencia y las marcas de nivelación. Si logísticamente, no es práctico tener un observador de la marea local o para la parte de campo visitar la estación porque el área de estudio está a una gran distancia de la estación, entonces cuando se hagan las visitas, una serie de muestreos de varias lecturas de la escala de marea debe hacerse en un período de pocas horas en lugar de una sola lectura.

Si la regla de marea se encuentra destruida durante el relevamiento, entonces se debe instalar una nueva para el período restante del levantamiento y se deben calcular los desniveles del mareómetro al registrador con nuevas observaciones entre ellos.

2.2.5.1.3 Marcas de nivelación y nivelación

Una red de marcas de nivelación es una parte integral de cada estación de medida de nivel de agua. Una marca de nivelación es un objeto físico o conjunto de marcadores (monumento) diseñado para la estabilidad y usado como referencia de los datums verticales y horizontales. Las marcas de nivelación en la vecindad de una estación de medida de nivel de agua son usadas como la referencia de los datums de marea local derivados de los datos de nivel de agua. La relación entre las marcas de nivelación y el sensor del nivel de agua o escala de marea están establecidos por el nivel de diferencia. Ya que las medidas del registradores están referenciadas a las marcas de nivelación, la calidad global de los datums es en parte dependiente de la calidad de la instalación de la marca de nivelación y de la calidad de la nivelación entre el nivel de agua y la marca de nivelación.

2.2.5.1.4 Número y tipo de marcas de nivelación

El número y el tipo de las marcas de nivelación requeridos dependen de la duración de las medidas de nivel de agua.

Cada estación típicamente tiene una marca de nivelación designada como la marca de nivelación primaria (PBM), que debe ser nivelada a cada vuelta. La PBM es típicamente la marca más estable en proximidad cercana a la estación de medida de nivel de agua. La marca de nivelación más deseable para las observaciones de GPS tendrán un despeje de 10º sobre el horizonte en la vertical y 360º en forma horizontal alrededor de la marca. Si el PBM es determinado como inestable, otra marca debe ser designada como PBM. La fecha de cambio y la diferencia de elevación entre el PBM anterior y el nuevo deben ser documentadas. Para las estaciones instaladas para más de un mes, deben establecerse de 3 a 5 marcas de nivelación o recuperadas y niveladas para cada estación.

2.2.5.1.5 Nivelación

Al menos nivelaciones de tercer orden deben ser hechas en las estaciones subordinadas de corto plazo operadas por menos de un año. Las nivelaciones se deben hacer entre los sensores de los niveles de agua o las escalas de marea y el número requerido de marcas de nivelación cuando la estación de medida del nivel de agua sea instalada, modificada (es decir, el sensor de nivel de agua es raparado o remplazado), para propósitos de delimitación o antes de desmontarlo. En cualquier caso, las nivelaciones son requeridas en intervalo máximo de seis meses durante la operación de la estación y son recomendados luego de tormentas fuertes, huracanes, terremotos, para documentar la estabilidad (ver estabilidad más abajo).

Los niveles de delimitación para el número apropiado de marcas (cinco para estaciones de un mínimo de 30 días) son requeridos si las mareas suaves requieren de 30 días o más antes del desmontaje planeado de los registradores aplicables o después de 6 meses para las estaciones de recolección de datos de proyectos hidrográficos de largo plazo.

2.2.5.1.6 Estabilidad

Si existe un movimiento no resuelto del sensor del nivel de agua o el cero de la escala de marea relativo al PBM, de una nivelación a la otra, mayor a 0.010 m, el hidrógrafo debe verificar el movimiento aparente nivelando otra vez las nivelaciones entre el “cero” del sensor o escala de marea y la PBM. Este estimado de 0.010 m no debe ser confundido con las tolerancias de cierre usadas para el orden y la clase de la nivelación.

2.2.5.1.7 Observaciones de GPS en las marcas de nivelación

Los levantamientos con GPS estáticos deben ser hechos como mínimo en de una marca de nivelación, preferiblemente en dos marcas si el tiempo y los recursos lo permiten, en cada estación de nivel de agua subordinada instalada/ocupada para la hidrografía. Los levantamientos de GPS deben realizarse en estaciones de nivel de agua simultáneamente con la ocupación de las marcas del NAVD 88, si es posible, para lograr las transferencias de datum de nivel de agua usando alturas ortométricas derivadas por GPS.

Los levantamientos de alta precisión con GPS diferencial estático requieren de un receptor GPS de calidad geodésica, frecuencia doble, receptor GPS de cobertura completa con un mínimo de 10 canales para rastrear los satélites GPS. Una antena de anillo obturador es preferible, sin embargo, cualquier antena de calidad geodésica de suelo puede usarse. Más importante que el tipo de antena es que las mismas antenas o las antenas idénticas deben ser usadas durante las sesiones de observación completas. Si no, se debe aplicar una corrección para la diferencia de los patrones de la fase de la antena (patrones de fase modelados). Esto es extremadamente crítico para obtener resultados verticales precisos. La longitud del cable de la antena entre la antena y el receptor debe ser mantenido al mínimo cuando sea posible; 10 metros es la longitud típica del cable. Si se necesita un cable más largo, el cable debe ser fabricado de cable coaxial de pérdida baja (RG233 para hasta 30 metros y RG214 para más de 30 metros).

La marca de nivelación más deseable para las observaciones de GPS tendrá un despeje vertical de 10º sobre el horizonte y 360º en la horizontal alrededor de la marca. Las marcas establecidas recientemente deben ser colocadas en los lugares que tienen las autorizaciones necesarias, si es posible.

Los datos meteorológicos (temperatura del aire, presión barométrica y humedad relativa) necesitan ser recolectados, si están disponibles, durante las observaciones de GPS. Los datos meteorológicos deben ser recolectados en o cerca del centro de la fase de la antena. Todo el equipo debe ser revisado periódicamente para la apropiada calibración.

2.2.5.2 Documentación de la estación

El paquete de documentación:

a. Instalación de una estación
b. Desempeño de los niveles limitantes
c. Reparación y mantenimiento del registrador
d. Desmontaje de la estación

La documentación de la estación generalmente incluye, pero no está limitada a lo siguiente:

a. Documentación de la prueba de calibración de una fuente independiente que no sea el fabricante para cada sensor usado para recolectar el nivel de agua o los datos auxiliar

b. Un informe sobre la estación documentando la información de la configuración de la estación y los meta datos relacionados;

c. Sección nueva o actualizada de la carta náutica o el mapa equivalente indicando la ubicación exacta de la estación, mostrando el número de la carta o el nombre del mapa y la escala.

d. Croquis de gran escala de la estación y archivo compatible de GIS digital en un diskette mostrando la ubicación relativa del mareógrafo, escala de marea (si la hay), marcas de nivelación y objetos de referencia mayores encontrados en las descripciones de las marcas de nivelación. El croquis debe incluir una flecha indicando la dirección norte, un bloque de título, latitud y longitud (derivado del GPS portátil) del mareógrafo en todas las marcas de nivelación.

e. Descripción nueva o actualizada de cómo llegar a la estación desde un punto geográfico mayor.

f. Fotografías de los componentes de la estación y de las marcas de nivelación. Fotografías digitales son mejores. Como mínimo, las fotografías deben mostrar una impresión del sistema de medida del nivel de agua en la instalación incluyendo los sensores y el fondo del calibrador; una vista frontal de la escala de marea (si la hay); vistas múltiples de los alrededores y otras vistas necesarias para documentar la ubicación; fotografías de cada marca de nivelación, incluyendo una vista de la ubicación y un acercamiento para ver la marca de nivelación. Todas las fotografías deben ser anotadas y referenciadas con el nombre de la estación, número, ubicación y fecha de la fotografía.

g. Descripción y notas de recuperación de las marcas de nivelación

h. Registros de la nivelación y resumen de los niveles, incluyendo información del instrumento de nivelación.

i. La hoja de trabajo del cálculo del datum calibrado o la hoja de trabajo de la diferencia de la escala de marea / mareógrafo como sea apropiado mostrando como el sensor “cero” es referenciado a las marcas de nivelación.

2.2.6 Procesado de los datos y la tabulación

2.2.6.1 Control de calidad de los datos

El producto final requerido usado en la generación de los factores de correccion de marea y para la determinación del datum de marea es una serie de datos continuos de intervalos discretos de datos de nivel de agua para el período de tiempo de hidrografía deseado y por un período mínimo de tiempo

especificado del cual derivar los datums de marea. (Nota: este intervalo de tiempo discreto es típicamente de 6 a 10 minutos pero para propósitos de discusión, se usará 6 minutos). El intervalo de datos de nivel de agua de 6 minutos de los registradores debe ser controlado en su calidad para evitar datos inválidos o sospechosos como revisión final previa a la generación del producto y a su aplicación. Esto incluye la revisión de las separaciones de datos, las discontinuidades de los datos, los cambios de datums, los puntos de datos defectuosos, puntos de datos fuera de las tolerancias esperadas como los valores máximo y mínimo esperados y de redes anómalas en las elevaciones de marea causadas por la deriva del sensor o el movimiento vertical de los componentes de la estación de mareas y de las marcas de nivelación.

El control de calidad debe incluir las comparaciones de datos simultáneos de mareógrafos de respaldo, las mareas predichas o datos de estaciones cercanas, como sea apropiado. La edición de los datos y el relleno de espacios deben usar algoritmos y procedimientos de sondeo matemáticamente documentados y se deben hacer una auditoria para rastrear todos los cambios y las ediciones de los datos observados. Todos los datos deducidos deben estar resaltados apropiadamente. Las mediciones de nivel de agua de cada estación deben estar relacionadas a un datum en común llamado Datum de Estación. El Datum de Estación es un datum arbitrario y no debe confundirse con un datum de marea como el MLLW. Todas las descontinuaciones, brincos u otros cambios en el registro del registrador (referirse a la guía de usuario del registrador) que pueden ser originadas por el movimiento vertical de cualquiera de los mareógrafos, escalas de marea, o marcas de nivelación deben estar documentados es su totalidad. Para evitar confusiones todos los datos debe grabarse en UTC (Tiempo Coordinado Universal – También conocido como Hora Meridiana Greenwich- GMT) y las unidades de medida deben ser denotadas apropiadamente en todas las copias físicas y archivos digitales.

2.2.6.2 Procesado de datos y tabulación de la marea

El intervalo de tiempo de 6 minutos de los datos de nivel de agua es usado para la tabulación estándar de los productos generados. Estos productos incluyen los tiempos y las alturas de las pleamares y las bajamares, las alturas cada hora, los niveles de agua máximo y mínimo mensual y los valores promedio mensuales para los parámetros necesarios. Ejemplos de estas tabulaciones de productos se pueden ver en la Figura 5.15 para las estaciones de marea. Los tiempos y alturas de la pleamar y la bajamar deben derivarse del ajuste de la curva de los datos tomados a intervalos de 6 minutos. Para propósitos de la tabulación de la pleamar y la bajamar y no del ruido no mareal de alta frecuencia, las pleamar y bajamar sucesivas deben ser calculadas del promedio de las alturas cada hora en cada mes calendario de los datos. Los datos deben ser tabulados y referidos al datum de la estación que puede ser el cero de una regla, el datum arbitrario de una estación mareográfica, el MLLW, etc., sobre la duración total de la serie de observaciones. Las descripciones de los procedimientos generales utilizados en la tabulación se encuentran en el Glosario de Mareas y Corrientes, Manual de Observaciones de Marea y la Planificación de Datums de Marea.

2.2.6.3 Edición de los datos y especificaciones del llenado de brechas

Cuando no están disponibles los datos del sensor de respaldo, no se deben llenar las brechas de datos en los 6 minutos si las brechas son mayores a un tiempo de 3 días consecutivos. El llenado de las brechas debe usar procedimientos y algoritmos de sondeo matemáticamente y científicamente documentados y se debe hacer una auditoria para rastrear todo el llenado de brechas en los datos observada. Las brechas mayores de 3 horas deben usar fuentes de datos externos como los datos de una estación cercana. Todos los datos generados del proceso de llenado de brechas deben marcarse como deducida. Individualmente las alturas de cada hora, las pleamar y bajamar, y los promedios diarios derivados de los datos deducidos deben ser marcados como deducidos.

2.2.6.4 Cálculo del promedio mensual

Cuando la tabulación de las mareas cubre períodos de tiempo mensuales los promedios mensuales de los distintos parámetros de marea se calculan para el uso subsiguiente en la determinación del datum de marea y para el control de calidad de los datos a largo plazo. El nivel del mar promedio mensual,

por ejemplo, es un parámetro importante para comprender la tendencia de largo período del nivel del mar y las variaciones estacionales de los niveles de agua. Para propósitos del cálculo del promedio mensual, los promedios mensuales no deben ser calculados si las brechas en los datos son mayores a tres días consecutivos.

Fig. 5.15 "Ejemplo de la Tabulación de Marea"

Enero 28 2003 08:24 DATOS DE PLEAMARES/BAJAMARES Octubre, 2002
Servicio Oceánico Nacional (NOAA)

Estación: 8454049 T.M.: 0 W
Nombre: QUONSET POINT, RI Unidades: Metros
Typo: Mixta Datum: Estación de Referencia
Nota: > Pleamar más alta/Bajamar más baja [] Marea Deducida Calidad: Verificada

Pleamar			Bajamar		Pleamar			Bajamar	
Dia	Hora	Altura	Hora	Altura	Dia	Hora	Altura	Hora	Altura
1	7.5	8.037	2.4	7.326	16	<9.7	[8.292]	2.6	7.394
	<20.2	8.071	<12.9	7.197		<21.3	8.782	14.6	7.563
2	8.8	8.000	2.6	7.173	17	10.6	8.345	<6.0	7.470
	<21.4	8.176	<14.3	7.066		<22.8	8.323	<15.4	7.245
3	9.5	8.233	3.2	7.157	18	10.7	8.257	4.0	7.248
	<22.3	8.314	<15.6	7.049		23.3	8.230	16.7	7.196
4	10.5	8.525	4.1	7.163	19	<11.8	8.296	<4.3	7.140
	<23.1	8.599	<16.3	7.057		<23.4	8.292	17.1	7.204
5	<11.5	8.632	4.4	7.109	20			<5.0	7.066
	23.8	8.466	<17.1	6.873		12.4	8.209	<17.5	6.994
6			<5.8	6.670	21	0.4	[8.128]	5.8	7.036
	12.2	8.477	18.2	6.832		<12.8	8.297	18.1	7.090
7	<0.5	8.582	<6.4	6.961	22	0.9	8.142	<6.5	6.999
	<13.3	8.819	19.2	6.969		<13.4	8.216	19.0	7.040
8	1.3	8.457	6.9	6.888	23	1.4	[8.075]	<6.9	7.013
	<14.0	8.644	<20.1	6.877		<13.7	[8.180]	<19.1	6.915
9	2.3	8.355	<7.9	6.852	24	2.1	7.934	7.3	6.969
	<14.9	8.631	20.9	6.986		<14.7	8.164	19.9	7.093
10	3.4	8.316	<8.2	6.969	25	2.9	[7.993]	<8.0	7.047
	<15.8	8.497	21.2	7.086		<15.4	8.156	<20.3	7.136
11	4.3	8.240	<9.4	7.129	26	3.8	[8.061]	8.3	7.204
	<16.7	8.455	22.1	7.305		<16.2	8.607	23.5	7.389
12	5.2	8.295	<10.3	7.380	27	4.6	7.974	<9.1	7.090
	<17.7	8.462				<17.1	8.216	21.9	7.348
13	5.9	8.266	0.5	7.481	28	5.4	7.860	<10.5	7.064
	<18.7	8.344	11.8	7.461		<17.9	8.008		
14	6.8	8.077	<2.2	7.401	29	6.2	7.949	1.5	7.243
	<20.1	8.161	<12.7	7.190		<18.6	8.042	<11.6	7.109
15	8.3	8.156	2.0	7.349	30	7.3	[8.052]	<1.5	7.197
	20.9	8.273	<14.1	7.344		<20.0	[8.154]	13.0	7.211
					31	8.3	8.215	2.1	7.239
						<20.7	8.290	<14.1	7.222

Marea más Alta: 8.819 13.3 Hrs Oct 7 2002
Marea más baja: 6.670 5.8 Hrs Oct 6 2002

Promedio Mensual:

MHHW	8.357		
MHW	8.272	DHQ 0.085	
MTL	7.707	GT 1.266	HWI 0.42 Hrs
DTL	7.724	MN 1.131	LWI 6.13 Hrs
MSL	7.668		
MLW	7.141	DLQ 0.050	
MLLW	7.091		

2.2.7 Cálculo de los Datums de marea

Un datum es llamado un datum de marea cuando está definido por cierta fase de marea, Los datums son datums locales y no deben extenderse en áreas que tienen características hidrográficas diferentes sin medidas de sustento. Con el propósito de que puedan ser recuperadas cuando se les necesite, estos datums están referenciados a los puntos fijos llamados marcas de nivelación.

Procedimientos básicos:

a. Hacer observaciones – Los datums de marea están calculados de observaciones continuas del nivel de agua en longitudes de tiempo específicas. Las observaciones están hechas en ubicaciones específicas llamadas estaciones de referencia. Cada estación consta de un registrador o sensor de nivel de agua, una plataforma de recolección de datos o un registrador de datos y un sistema de transmisión de datos y de un grupo de marcas de nivelación establecidas en la vecindad de la estación de referencia. El Servicio Oceánico Nacional de los Estados Unidos (NOS) recolecta los datos de nivel de agua en intervalos de 6 minutos.

b. Tabular la marea – una vez que las observaciones de nivel de agua están controladas en calidad y cualquier brecha pequeña rellenada, los datos son procesados al tabular las pleamares y las bajamares y las alturas horarias para cada día. Los parámetros de la marea de estas tabulaciones de marea diarias son entonces reducidas a los valores promedio, típicamente en una base a un mes calendario en registros de períodos más largos o en unos pocos días o en semanas para registros de corto plazo.

c. Cálculo de Datums de marea – Los primeros datums de reducción de marea están determinados directamente por los valores promedio de los parámetros de marea en 19 años NTDE (Nacional Tidal Datum Epoch), *Tiempo nacional de Datum de Marea.* Los datums de marea equivalentes a NTDE son calculados de estaciones de referencia que operan por períodos de corto plazo a través de la comparación de los datos simultánea entre la estación de corto plazo y la de largo plazo.

d. Cálculo de las Elevaciones de las Marcas de Nivelación – Una vez que los datums de marea sean calculados de las tabulaciones, las cotas son transferidas a puntos fijos elegidos sobre la tierra, mediante nivelación geométrica mientras dure la operación de la estación mareográfica. Las elevaciones y descripciones de las marcas de nivelación son difundidas por la NOS a través de su hoja de publicación de marcas de nivelación para cada estación. Las conexiones entre las elevaciones de datum de marea y las elevaciones geodésicas son obtenidas después de la nivelación de las marcas de nivelación y las marcas de nivelación geodésicas. Tradicionalmente, esto se ha logrado usando el nivelador diferencial, sin embargo las técnicas de levantamiento de GPS pueden ser también utilizados (NGS, 1997).

Las ubicaciones de las estaciones de marea están organizadas en una jerarquía:

a. Estaciones de control de marea son generalmente aquellas que han sido operadas por 19 o más años, se espera que operen continuamente en el futuro y son usadas para obtener un registro continuo de los niveles de agua en una localidad. Las estaciones de control de marea están ubicadas para dar el control de datum para las aplicaciones nacionales y están ubicadas en tantos lugares como sea necesario para el control del datum.

b. Estaciones de Nivel de Agua Secundarias son aquellas que han sido operadas por menos de 19 años pero más de una año y tienen una vida útil limitada. Las estaciones secundarias dan control en las bahías y estuarios donde los efectos de marea

localizados no son reconocidos en la estación de control más cercana. Las observaciones en una estación secundaria no son suficientes usualmente para una determinación precisa e independiente de los datums de marea, pero cuando se reducen en comparación con las observaciones simultáneas en una estación de control de marea apropiada se puede obtener resultados muy satisfactorios.

c. Estaciones de nivel de agua Terciarias son aquellas que han sido operadas por más de un mes pero menos de un año. Las estaciones de medida de nivel de agua de corto plazo (secundarias y terciarias) pueden tener su datos reducida o equivalente a los datums de marea de 19 años a través de comparaciones matemáticas simultáneas a una estación de control cercana.

Las estaciones de marea de control o primarias, las secundarias y las estaciones terciarias están ubicadas en lugares estratégicos para la cobertura de la red. El criterio de selección del sitio incluye la cobertura espacial de los cambios importantes en las características de la marea tales como: Cambios de tipo de marea, cambio en la amplitud de marea, cambios en el tiempo de marea, cambios en el promedio diario del nivel del mar y cambios en la tendencia de largo plazo del nivel del mar. Otros criterios incluyen la cobertura de las áreas de navegación críticas y las zonas de transición, los sitios históricos, la proximidad a la red geodésica y la disponibilidad de las estructuras existentes, como muelles apropiados para la ubicación del equipo científico.

Procedimiento de Comparación Simultánea:

Conceptualmente, los siguientes pasos necesitan ser completados para calcular el equivalente datum de marea NTDE en las estaciones de corto plazo utilizando el método de comparación de observaciones simultáneas:

a. Seleccionar el período de tiempo en el que las comparaciones simultáneas se van a hacer;

b. Seleccionar la estación de control de marea apropiada para la estación subordinada de interés;

c. Obtener los datos simultáneos de las estaciones subordinadas y de control y obtener o tabular las mareas y calcular los promedios mensuales, apropiadamente;

d. Obtener los valores de los datums de marea aceptados (relativos a la NTDE en los Estados Unidos, por ejemplo) en la estación de control;

e. Calcular las diferencias promedio y/o los cocientes (apropiadamente) en los parámetros de marea entre las estaciones de control y subordinadas en el período de comparación simultánea;

f. Aplicar las diferencias promedio y los cocientes calculadas en el paso e, anteriormente, para los valores aceptados en la estación de control para obtener los valores NTDE equivalentes o correctos para la estación subordinada.

Cálculo de las Elevaciones de marcas de Nivelación.

Una vez que se hayan calculado los datums de marea a partir de las tabulaciones, las cotas son transferidas a las marcas de nivelación establecidas en tierra a través los desniveles obtenidos por nivelación geométrica entre el cero del sensor de mareas y los puntos fijos durante la operación de la estación (NOS Especificaciones y cumplimientos, 2000). Las conexiones entre las elevaciones de datum de marea y las elevaciones geodésicas son obtenidas después de nivelar las marcas de nivelación de la marea y la red de marcas de nivelación geodésicas. Tradicionalmente, éste ha sido

logrado utilizando un nivel diferencial, sin embargo las técnicas de levantamiento de GPS también pueden usarse (NGS, 1997).

2.2.7.1 Recuperación de Datum de marea

Cuando las estaciones de marea son instaladas en sitios históricos, las mediciones deben ser efectuadas para "recuperar" los datums de marea establecidos a través de nivelación geométrica que debe ser realizada referenciando el registrador de marea o cero de la regla a más de uno de los puntos fijos existentes con cota establecida. Con este proceso, la elevación MLLW publicada es transferida a las diferencias de nivel al "nuevo" registrador o mareómetro y comparadas con la elevación MLLW calculada con la nueva dará en el mismo "cero". Los factores que afectan la recuperación del datum (es decir, las diferencias entre los datums nuevo y viejo) incluyen la longitud de cada serie de datos usadas para calcular los datums, la ubicación geográfica, las características de marea en la región, la longitud de tiempo en las recuperaciones, las tendencias de nivel del mar en la región y la estación de control usada. Basado en todos estos factores, la recuperación del datum puede esperarse que varíe de +/- 0.03 m a +/- 0.08 m. Por lo que, este proceso también sirve como procedimiento de control de calidad muy útil. Luego de efectuar una recuperación de datum exitosa y de establecer la estabilidad de la marca de nivelación, el valor histórico del Promedio más Bajo de la Bajamar (MLLW) debe ser usado como el datum operacional de referencia para los datos de un calibrador durante las operaciones de levantamiento hidrográfico.

2.2.7.2 Control de calidad de los Datums

Es esencial para el control de calidad del datum de marea tener procedimientos de procesado y nivelación de datos llevando a cabo a su extensión máxima. Se debe tener cuidado al calcular los datums de marea en los sistemas ribereños o en regiones de regimenes de marea desconocida. Las comparaciones marea-a-marea entre los datos de la estación subordinada y la de control normalmente detectarán las diferencias anormales que deben ser investigadas para determinar el mal funcionamiento del registrador o un movimiento del sensor. Los datums deben ser establecidos para más de una marca de nivelación. Las diferencias en elevación entre las marcas de elevación basadas en una nueva nivelación deben estar de acuerdo con las diferencias establecidas previamente en las hojas de marcas de nivelación publicada. Cualquier cambio en las diferencias de elevación debe estar conciliado antes de usar en cualquier procedimiento de recuperación de datum. La precisión del datum en una estación subordinada depende de varios factores, pero la disponibilidad y la elección de una estación de control adecuada de características de mareas similares, promedio de nivel de marea diaria y de similares variaciones estacionales del promedio del nivel del mar y similar tendencia de nivel de marea son las más importantes. La longitud de las series también va a determinar la precisión. A medida que las series sean más largas, el datum será más exacto y será mayor el control de calidad y la confianza ganados al analizar numerosas diferencias promedio mensuales entre las estaciones subordinada y la de control. En las estaciones históricas re-tomadas para las que se han hecho las recuperaciones de datums, los datums actualizados deben ser calculados de las series de tiempo nuevas y comparadas con los datums históricos a medida que el levantamiento se hace.

2.2.7.3 Relaciones de los Datums geodésicos

Los datums de marea son datums locales verticales que pueden cambiar considerablemente dentro de un área geográfica. Un datum geodésico es fijado a un plano de referencia para el control vertical de las elevaciones de la superficie. El Datum Vertical de Norte América de 1988 (NAVD 88) es el datum de referencia geodésico aceptado del Sistema de referencia Espacial Nacional Geodésico y es oficialmente apoyado por el Estudio Geodésico Nacional (NGS) con una red de GPS operando continuamente en las estaciones de referencia. La relación de los datums de marea con el NAVD tiene muchas aplicaciones hidrográficas, de dibujo costero y de ingeniería incluyendo el monitoreo del cambio del nivel del mar y el desarrollo de los sistemas de visualización de la carta electrónica GPS y de información etc. En algunos países, el datum local del Nivel del mar Promedio (MSL) ha sido confundido en el tiempo con el datum de referencia geodésico nacional porque los datums geodésicos

eran derivados originalmente de las medidas MSL en los mareografos. Sin embargo ya que el nivel del mar relativo ha cambiado con el movimiento de tierra vertical y el incremento global del nivel del mar, los datums geodésicos fueron desconectados del MSL oceanográfico local. El NAVD88, por ejemplo, uso sólo una estación de marea de referencia inicial y no es considerada una MSL de datum correlacionado.

Las marcas geodésicas existentes en la vecindad de una estación de marea subordinada deben ser investigadas y recuperadas. Una rutina de investigación está disponible en **http://www.ngs.noaa.gov .** Una conexión de nivel ortométrico y elipsoidal de GPS es necesaria en la estación de marea subordinada que tiene marcas de nivelación geodésicas localizadas en las cercanías. Las elevaciones de altura del NAVD88 para las marcas de nivelación publicada están dadas en las unidades de altura ortométrica Helmert por el NGS. Las precisiones de la red elipsoide GPS están clasificadas conformes a 2 cms o 5 cms de precisión estándar (Referirse al Memorando técnico de la NOAA NOS NGS-58). En el presente, las alturas elipsoides GPS que conformes a los 2 cms de estándar de precisión son requeridas para los contratos de proyectos de levantamiento hidrográfico. Refiérase a la sección 4.2.8 Observaciones GPS y la Guía de usuario para las Observaciones GPS, NOAA/NOS, actualizada en enero 2003.

Es preferible una conexión de nivel ortométrico a un vínculo elipsoidal GPS, donde sea aplicable, para derivar las alturas NAVD 88. Una conexión ortométrica se necesita si cualquiera de las marcas geodésicas (hasta cinco marcas) están localizadas dentro de un radio de 0.8 km de la estación de marea subordinada. Si las marcas apropiadas se encuentran en la base de datos del NGS, y están más lejos de esos 0,8 km hasta 10 km de la estación subordinada, entonces se necesita el GPS para derivar las alturas del elipsoide. Si no se encuentra un mínimo de cinco marcas de nivelación a 1 km de la estación subordinada, o no se encuentran las marcas geodésicas en la base del NGS a los 10 km de la estación subordinada, entonces se debe instalar, describir, conectar por niveles cinco nuevas marcas de nivelación, y las observaciones GPS deben ser tomadas en al menos una de las cinco marcas. (Refiérase a la Guía de Usuario para las Descripciones escritas de las Marcas de Nivelación, NOAA/NOS, Actualizada en enero 2002, Guía de Usuario para las Observaciones GPS, NOAA/NOS, Actualizada en enero 2003, y las Sección 4.2.8 Observaciones GPS). Al menos dos marcas de nivelación geodésicas deben ser usadas para validar la nivelación o la conexión de la altura del elipsoide GPS para propósitos de control de calidad.

2.2.8 Zonificación final y reductores de marea

Los datos relativos a la MLLW de las estaciones subordinadas instaladas específicamente para el levantamiento, o de las estaciones de control primarias, apropiadamente, deben ser aplicados para reducir los datos del sondeo al datum de la carta, directamente o indirectamente a través de una técnica de corrección conocida como la zonificación de marea. Las series de datos, directas o corregidas, relacionadas al MLLW u otras LWD aplicables a referencias de sondeo hidrográfico al datum de la carta son denominadas “reductores de marea” o “reductores de nivel de agua”

2.2.8.1 Construcción de los esquemas de zonifícación de marea final

Ya que las características de marea varían espacialmente, los datos de los registradores de nivel de agua desplegados pueden no ser representativos de los niveles de agua en el área de estudio. La zonificación de marea debe ser implementada para facilitar la provisión de series de tiempo de datos de nivel de agua relativa al datum de la carta para cualquier punto en el área de estudio como las predeterminadas. Los requerimientos de precisión son mantenidos para el componente de medida de nivel de agua del levantamiento hidrográfico. El NOS actualmente utiliza el método de “zonificación discreta de marea” para las operaciones, donde las áreas de levantamiento están divididas en un esquema de celdas donde los bordes tienen características comunes de marea. El requisito mínimo para cada nueva celda es que se produzca un cambio de 0.06 m en la amplitud promedio de la marea y un retardo de 0.3 horas en la curva de marea (Intervalos de pleamar y bajamar de Greenwich). Las

correcciones de fase y de amplitud para los datos apropiada de la estación de marea deben ser asignadas a cada celda.

La zonificación preliminar, que está basada en los datos de la estación de marea histórica y en el estuario disponible y en los modelos de marea global, es referida a una estación de referencia de predicciones aplicables para su utilización durante el trabajo de campo. Para el procesado final, la zonificación preliminar debe ser remplazada por la "zonificación final" que es una refinación basada en los nuevos datos recolectados en las estaciones subordinadas durante el estudio. Con el esquema final de zonificación, las correcciones para cada zona deben ser derivados de una estación subordinada especialmente instalada para el estudio en vez de la estación de referencia utilizada para la zonificación preliminar. Los errores de zonificación deben minimizarse para que cuando se combinen con errores de medición del nivel de agua actual en el registrador y los errores en la reducción del datum de la carta, el error total de los factores de corrección de marea esté dentro de las tolerancias especificadas. El esquema de zonificación final y todos los datos utilizados en su desarrollo deben estar documentados y entregados.

2.2.8.2 Archivos de factores de corrección de marea y nota final de marea

Los datos de series de tiempo verificados, recolectados en las estaciones subordinadas apropiadas, están referidos al promedio del NTDE de la bajamar más Baja (Datum de la carta) a través de los procedimientos de cálculo del datum. Los datos de series de tiempo recolectados en intervalos de seis minutos y reducidos al datum de la carta como se especificó, de los registradores subordinados operados durante el levantamiento, deben ser usados directamente o corregidos con el empleo de un esquema de zonificación para que los reductores de marea estén dentro de las tolerancias especificadas. Una Nota Final de Marea debe ser entregada para cada hoja hidrográfica con información como cual zonificación final de marea debe ser aplicada a cuales estaciones para obtener los reductores de marea finales. Un ejemplo de la Nota Final de Marea y del gráfico de la zonificación de marea final se encuentra en las Figuras 5.16 y 5.17.

Fig 5.16 "NOTA FINAL DE MAREA y CARTA FINAL DE ZONIFICACION DE MAREA"

FECHA: diciembre 22, 1999

SEDE HIDROGRAFICA: Pacífico
PROYECTO HIDROGRAFICO: OPR-P342-RA-99
HOJA HIDROGRAFICA: H-10910

LOCALIDAD: 6NM Noroeste de cape Kasilof, AK

PERÍODO DE TIEMPO: Julio 22 –Agosto 20, 1999

ESTACION DE MAREA USADA: 945-5711 Cape Kasilof, AK
Lat. 60º 20.2'N Lon. 151º 2.8'W

PLANO DE REFERENCIA (PROMEDIO DE BAJAMAR MÁS BAJA): 0.000 metros
ALTURA DE PLEAMAR SOBRE EL PLANO DE REFERENCIA: 5.850 metros

COMENTARIOS: ZONIFICACION RECOMENDADA:
Utilizar zonas identificadas como: CK394, CK395, CK399, CK400, CK401,CK407, CK408, CK409, CK434, CK435, CK441, CK442, CK443, CK467, CK468, CK469, CK470,CK477, CK480, CK481, CK482, CK483, CK493 y CK494.

Ir a los anexos para información de zonificación

Nota 1: Los datos de series de tiempo dados están tabulados en unidades métricas (Metros) relacionados a la MLLW y al GMT.

Nota 2: Nikiski, AK sirvió como control de datum para las estaciones de marea subordinadas y para la zonificación de marea en este levantamiento hidrográfico. Los datums aceptados para esta estación han sido actualizados recientemente y han cambiado significativamente de los valores anteriores.

El NTDE utilizado para calcular los datums de marea en las estaciones de marea es el 1960-78 NTDE. Tradicionalmente, el NTDE ha sido ajustado cuando la tendencia a cambios significativos en el promedio de nivel del mar (MSL) fue encontrada en los análisis de las estaciones del NWLON. Las épocas son actualizadas para asegurar que los datums de marea son los más exactos y prácticos para la navegación, las aplicaciones de levantamiento y de ingeniería y reflejan las condiciones locales existentes del nivel del mar. Por ejemplo, los análisis de las tendencias del nivel del mar muestran que una nueva NTDE es necesaria y los esfuerzos están en camino de actualizar el 1960-1978 NTDE a un período de 19 años más recientes.

Nota: Este ejemplo de Nota Final de Campo y de Carta e Zonificación de Marea final fue escrito en diciembre 1999, en esa fecha el NTDE era 1960-1978, ahora el nuevo NTDE es 1983-2001.

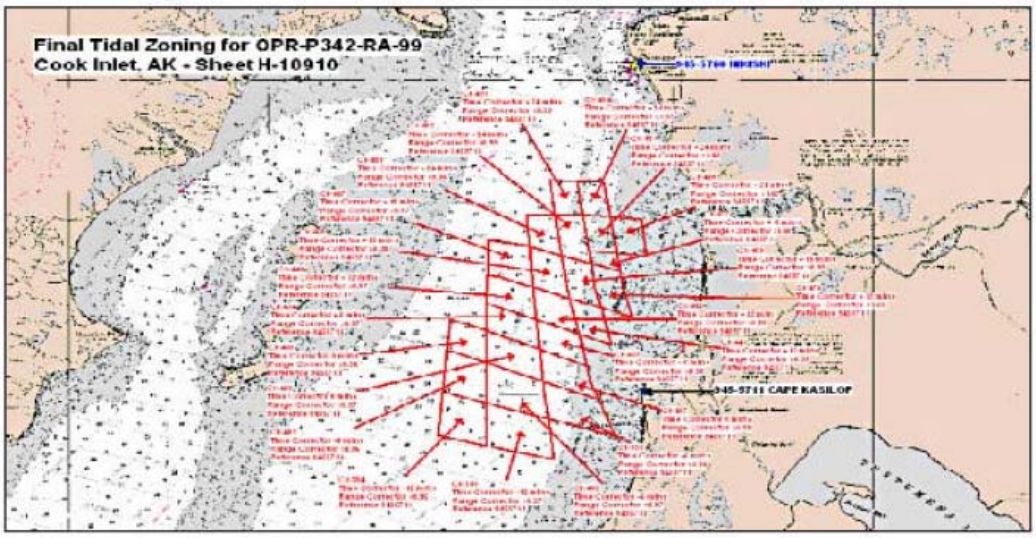


Fig. 5.17

Las mediciones de nivel de agua finales observados deben ser reportadas como alturas en metros en tres decimales (Ej. 0.001 m). Todas las alturas deben ser referidas al datum de la estación y deben ser referidos al UTC. Los datos de serie de tiempo del factor de corrección final de marea debe ser referidos al MLLW y debe ser referenciados al UTC.

Los datos brutos del nivel de agua original y también los correctores usados para convertir los datos al datum de la carta debe ser retenida hasta que se notifique por escrito o al menos dos años después de que el levantamiento se complete. Todos los algoritmos y las conversiones utilizadas para entregar correcciones deben ser respaldadas completamente por las calibraciones, mantenimiento, documentación, registros de nivelación e ingeniería de sondeo/prácticas oceanográficas. Los sensores para las mediciones usados para convertir los datos (ej. presión a altura) deben ser calibrados y mantenidos para el período total de registro de nivel de agua.

2.2.9 Uso del GPS cinemático para el control vertical

La tecnología de utilizar GPS cinemático para el control vertical en el levantamiento hidrográfico se esta volviendo mucho más común después de haber sido objeto de investigaciones durante varios años. El GPS cinemático es una forma de posicionamiento con una precisión en la vertical de 1 cm, el cual usa primariamente la fase de la onda portadora de los observables en el cual las correcciones diferenciales son formuladas conjuntamente con un receptor móvil GPS (o sea, una nave o un lanzamiento) y al menos una estación base estática.

El GPS cinemático necesita un marco de referencia horizontal y vertical exacta para determinar una posición precisa en cada sondeo, relacionada al NAD83 (por ejemplo), y para determinar una profundidad exacta de cada sondeo como el MLLW, el LAT u otro datum de carta local apropiado. El caso de determinar la separación entre el datum vertical del GPS cinemático diferencial y el datum de la carta local es importante de resolver para cada área de estudio. La separación no es constante y puede ser muy compleja. No son bien conocidos y pueden necesitar de mediciones adicionales para comprender la complejidad de la geodesia en el área así como las características de marea. Las relaciones constantes pueden ser adecuadas en áreas de estudio pequeñas, la interpolación simple en otras, o los modelos de interpolación complejos y los esquemas de zonificación continuo pueden ser requeridos. Los datums de marea, la batimetría y la geodesia deben ser puestos en el mismo marco de referencia vertical antes de las operaciones de levantamiento.

La disponibilidad de control para el uso del GPS cinemático para el levantamiento debe ser evaluado durante la planificación y si es requerido, se debe establecer el control del datum de marea y geodésico antes de la recolección operacional de los sondeos para establecer la relación del datum de marea y las superficies de referencia del GPS en el área de estudio. La cantidad de trabajo de campo requerido depende de la adecuación de la marea existente y del control geodésico (NOS, 2000).

3. FLUJO DEL NIVEL DE AGUA Y CORRIENTES DE MAREA

3.1 Introducción

Se necesita que el hidrógrafo tenga conocimiento de trabajo de predicción y de observación oceanográfica y de condiciones meteorológicas para poder conducir satisfactoriamente los levantamientos de recolección de datos de campo y de realizar la eficientemente y con seguridad necesaria navegación en los levantamientos. Además del levantamiento y caída de las mareas, las corrientes del área son casi siempre una variable predominante que afecta las operaciones de campo. La mayoría de las veces el hidrógrafo no sólo es necesitado para realizar sondeos para la producción de cartas náuticas, sino que debe evaluar las características de las mareas y los movimientos de las corrientes de marea y ser capaces de describirlas para esas aplicaciones como los derroteros y las tablas de predicción de marea. Además, el hidrógrafo es casi siempre solicitado para desplegar y recuperar correntímetros y sus maniobras de anclaje.

3.2 Principios de las corrientes de mareas

La corriente del agua es el movimiento horizontal de las aguas. Las corrientes pueden ser clasificadas como de marea y de no-marea. Las corrientes de mareas son causadas por las interacciones de gravedad entre el Sol, la Luna y la Tierra y son parte del mismo movimiento general de los océanos que resultan en la subida y descenso de la marea. Las corrientes de no-marea incluyen las corrientes permanentes en los sistemas circulatorios generales del mar así como las corrientes temporales que surgen de la variabilidad meteorológica más pronunciada.

Así como datums de marea y alturas, varios países usan variada terminología para describir el mismo fenómeno. El Reino Unido usa el término de líneas de marea en vez de corriente de marea y el término flujo de marea para describir el flujo real o el total de flujo de la corriente, que es una combinación de los componentes de marea y de no-marea.

Los residuales son referidos algunas veces como la diferencia entre las corrientes totales observadas y las corrientes de marea predichas o la diferencia ente las líneas de corriente y el flujo de marea. Aunque las corrientes de marea se derivan de las mismas fuerzas de producción de marea, las corrientes de marea son mucho más variables y complejas de predecir que las alturas de marea. El ascenso y el descenso de la marea es una cantidad escalar (alturas variables solamente) mientras que las corrientes de la marea son cantidades vectoriales (varían en velocidad y en dirección asociada). La velocidad y la dirección de las corrientes en una ubicación dada no sólo varían con el tiempo, sino que también con la profundidad, Y las características de la corriente en una ubicación dada no se pueden extender muy lejos, especialmente en áreas de batimetría compleja de aguas poco profundas y de topografía compleja (configuraciones de la línea de costa). Los patrones de corriente en áreas complejas también pueden exhibir remolinos y giros de varios tamaños marcados por la batimetría y la configuración del canal en las aguas poco profundas. No es raro encontrar patrones de resistencia de corriente en las que hay cambios significantes en la dirección y en la amplitud. Debido a esta variabilidad espacial, las predicciones de marea derivadas de las mediciones de corriente son típicamente válidas únicamente para un área pequeña a una profundidad dada, y no son necesariamente transferibles dentro de una región o a través de la columna de agua.

Los tipos de corrientes de no-marea incluyen:

- Corrientes de circulación oceánica;
- Giros, Corrientes de borde Este y Oeste, contracorriente Ecuatorial, etc.;
- Circulación Termohalina;
- Corrientes conducidas por el viento (Ekman a cerca de 100M);
- Seiches;
- Corriente de río y corrientes hidráulicas.

En el océano abierto, las corrientes o las líneas de mareas tienden a ser rotatorias por naturaleza (Figura 5.18). En teoría si la Tierra estuviera cubierta completamente de agua, en el momento que la tierra y el sol estén alineados con el ecuador, las corrientes de marea en el ecuador se moverían de atrás hacia delante (este y oeste) de forma reversa en respuesta a las mareas. Con latitud, las corrientes mostrarían patrones elípticos en aumento con latitud al patrón circular de los polos. El patrón a cualquier latitud dada variaría dependiendo de la declinación de la Luna y del Sol. Los efectos de la fuerza de coriolis también refuerza la naturaleza rotatoria de las corrientes en el océano tanto que rotan en sentido de las agujas del reloj en el hemisferio norte y en contra de las agujas del reloj en el hemisferio sur.

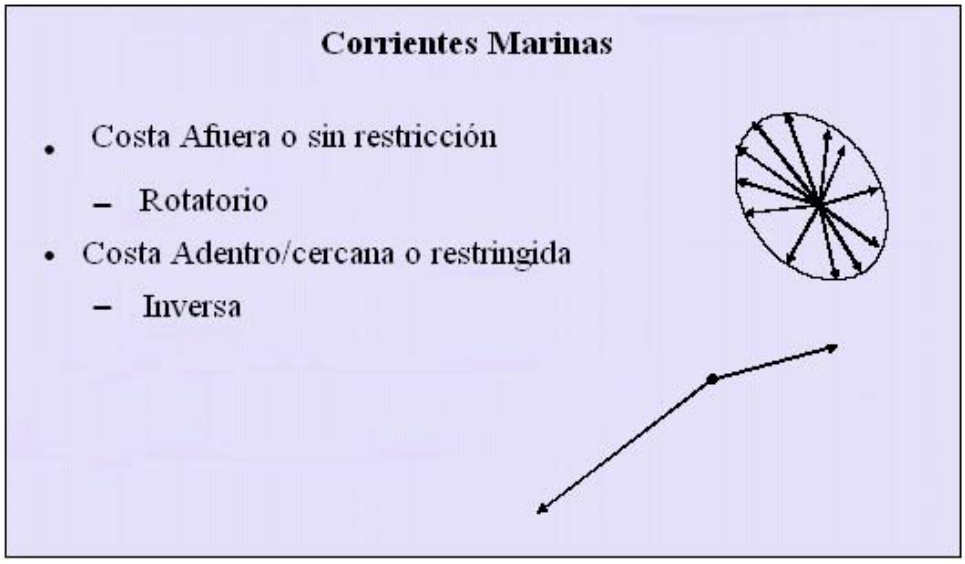


Fig. 5.18

En las áreas cercanas a la costa, las corrientes de marea y lineas de marea tienden a ser más reversibles en su naturaleza respondiendo a la batimetría y a la topografía de los estuarios y bahías (Figura 5.19). Las fases de corrientes reversibles son descritas como períodos de calma, los flujos máximos y los reflujos máximos. La estoa es el corto período de tiempo donde ocurre la inversión entre flujo y reflujo. Típicamente, las corrientes de flujo son aquellas que están entrando hacia la costa o aguas arriba. Las corrientes de reflujo son aquellas que están saliendo, costa afuera o aguas abajo. Estas mareas mostrarán muchas de las características de las mareas descritas en las altitudes de las mareas. Los flujos y los reflujos mostrarán características de marea semi diurna, mixta y diurna muy similares a las correspondientes a las características de altura de marea en un área dada. Sus fuerzas y velocidades mostrarán variaciones en la respuesta a las declinaciones cambiantes de la Luna y el Sol y al perigeo/apogeo y a los ciclos de perihelio/afelio (Figura 5.4). Las corrientes de marea en regimenes de marea mixta muestran desigualdades en los flujos y reflujos cada día, justo como las alturas de marea.

La dirección de la corriente es algunas veces referida como el grupo y la velocidad es referida como la deriva. La dirección de la corriente, por convención, es la dirección de compas hacia la cual fluye la corriente calibrada en términos de nudos (navegación) o metros/segundos (científica) (1Knt = 0.51444 m/s).

Las corrientes hidráulicas son corrientes producto de la diferencia de altura en el nivel de agua de dos cuencas interconectadas (Hell’s Gate New York, Cape Cod Canal & the Chesapeake and Delaware Canal).Las diferencias de altura en las aguas de marea son causadas por la diferencia de fase en la marea a cada extremo de un canal o un estrecho. Las corrientes hidráulicas no mareales ocurren en las vías que interconectan las aguas de los Grandes Lagos por ejemplo y típicamente están en dirección aguas abajo solamente.

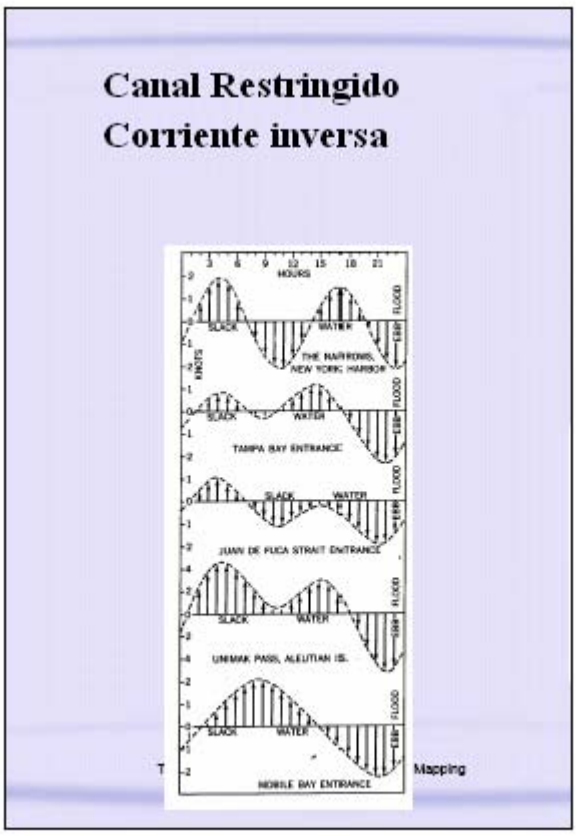


Fig. 5.19

En teoría, las corrientes marinas deben tener relaciones consistentes entre los tiempos y las fuerzas de los flujos, reflujos, los tiempos, las alturas de la pleamar y la bajamar ya que estas están relacionadas y forzadas por las mismas fuerzas de producción de mareas. Sin embargo la respuesta de las cuencas y los estuarios a las fuerzas de producción de mareas y las relaciones resultantes de la corriente de marea a las alturas de marea es compleja y varía con la ubicación. En algunos lugares, las corrientes máximas ocurren a media marea y en otras, las corrientes máximas ocurren más cerca de la pleamar y la bajamar.

3.3 Mediciones de corrientes

Hay dos métodos distintos para medir las corrientes: el uso lagrangiano de flotadores a la deriva, elementos trazadores, boyas, anclas flotantes de corriente y el uso Euleriano de un correntímentro en una ubicación particular. Ambos tipos tienen sus ventajas y desventajas dependiendo de la aplicación. Los equipos lagrangianos requieren del rastreo de las concentraciones o cambios de la posición de los derivadores con el tiempo, son útiles para el moldeado de la trayectoria y la predicción para la aplicación en derrames de materiales peligrosos y de petróleo o para los estudios de los patrones de circulación estuarinos. Los derivadores de sub superficie pueden ser también desplegados para rastrear corrientes de fondo. Los equipos Eurelianos dan buena información de las series de tiempo de las corrientes en lugares específicos y las aplicaciones de profundidades usadas en la predicción de corrientes de mareas para la navegación comercial y recreacional y operaciones de buques pesqueros. Ambos tipos de mediciones son útiles para el completo entendimiento de los regímenes de corrientes y para el desarrollo y calibración de modelos hidrodinámicos. Pueden ser requeridas embarcaciones de levantamientos hidrográficos para desplegar una variedad de equipos de medición de corriente dependiendo del área de estudio y la información requerida.

Los primeros sistemas de medición de corrientes fueron Lagrangianos en naturaleza, usando el rumbo de naves a la deriva o usando derivadores desplegados por los barcos. Para el trabajo cerca de la costa, estos fueron remplazados por los sistemas de correntímentros fondeados de varios diseños mecánicos y electro mecánicos. Estos sistemas son instalados en diseños de fondeos sub superficiales con varios metros de despliegue a lo largo de la línea vertical del fondeo dependiendo de la profundidad, con el medidor de la corriente dispuesto tan cerca de la superficie como sea posible. Los medidores de corriente mecánicos usan combinaciones de aspas, rotores y propelas para medir la velocidad y la dirección. Los medidores son generalmente de registros internos y los datos son recolectados después de la recuperación. Los períodos de despliegue son generalmente de corto plazo (unos pocos meses como máximo). Los sistemas modernos de medición usan la tecnología de los perfiladores acústicos de corriente (ADCP) para medir los perfiles de las corrientes en la columna de agua en el tiempo desde un medidor de corriente montado en el fondo. Los ADCPs también pueden ser desplegados horizontalmente para medir las corrientes a lo largo del canal en el tiempo a profundidades fijas y pueden ser remolcados para medir las corrientes según la profundidad en transectas a lo ancho del canal. Estos correntímentros pueden ser desplegados desde boyas de superficie dirigidos hacia abajo y pueden ser configurados para suministrar los datos en tiempo real utilizando tecnología acústica moderna o cables directos dependiendo del despliegue. Los ADCPs proporcionan perfiles de velocidad de corriente y de dirección al entregar la información para las zonas verticales fijas en la columna de agua. La Figura 5.20 muestra algunas configuraciones típicas de despliegue para los medidores de corrientes.



Fig. 5.20

Los nuevos sistemas de radar de alta frecuencia están siendo desarrollados para que entreguen mapas de corriente de superficie en áreas amplias que deberían ser también beneficiosas para desarrollar operaciones de levantamiento hidrográfico. Estos sistemas basados en la costa usan una antena respondedora y una receptora para dar vectores de corriente para celdas superficiales de área fija en tiempo real (ver Figura 5.21).

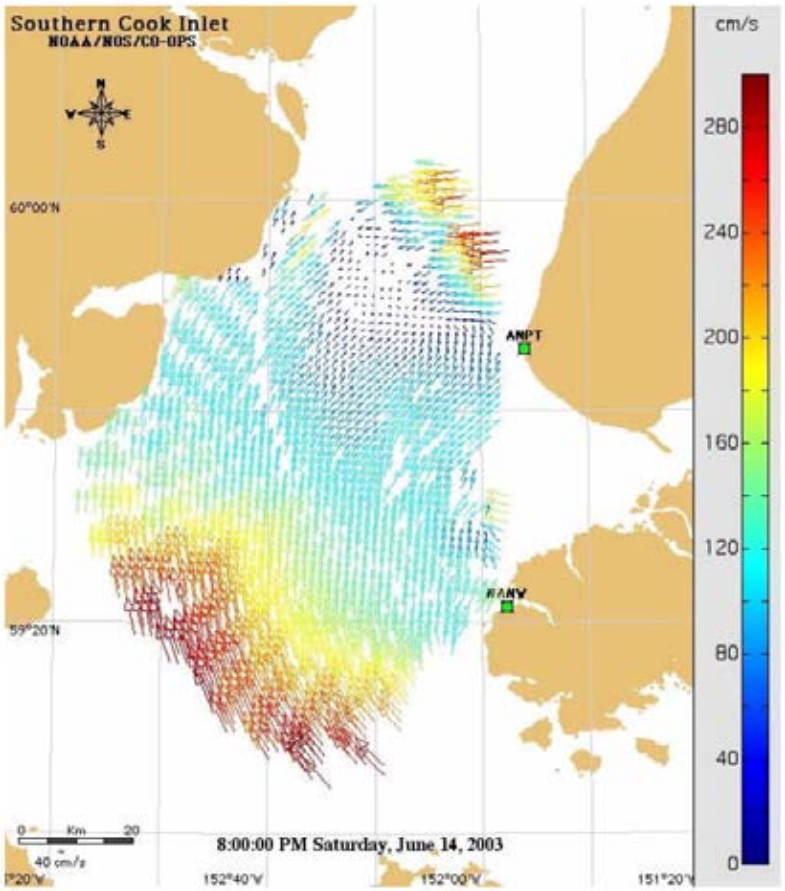


Fig. 5.21

3.4 Predicción de corriente de mareas

Las corrientes de mareas, como las alturas de mareas, pueden ser pronosticadas porque son causadas por la interacción del bien conocido sistema Tierra-Luna-Sol. También como en las predicciones de alturas de marea, las corrientes de marea son pronosticadas por el análisis armónico de las mediciones obtenidas en 29 días de datos preferiblemente para lograr un mes lunar completo. Un mínimo de 15 días de datos puede ser usado para el análisis de corrientes armónico, simplemente porque es difícil histórica y logísticamente obtener rutinariamente más de eso en un despliegue típico. Aunque la aproximación y la teoría son lo mismo para el análisis armónico de las mareas y las corrientes de marea, los análisis de las corrientes de marea son más complejos. Por ejemplo, para las corrientes reversibles, se obtienen dos grupos de componentes para los ejes mayores y menores siendo el eje mayor la dirección principal de la corriente. Además, el análisis debe tratar de considerar la presencia permanente de las corrientes no-mareales encontrada en el análisis de las observaciones.

Los navegantes están generalmente interesados en la fuerza y tiempo de las cuatro fases del ciclo de la corriente de marea. Las tablas de predicción de la NOAA (EEUU) incluyen predicciones para la estoa antes del flujo (SBF), la corriente de máximo flujo (MFC), la estoa antes del reflujo (SBE) y la corriente máxima de reflujo (MEC). En áreas donde las corrientes nunca están en un verdadero reposo (velocidad cero), los valores de la corriente de flujo de reposo (SFC) y de la corriente de reposo del reflujo (SEC) son predichos también. Las estaciones de predicción de corrientes de marea también utilizan el mismo concepto de las estaciones de referencia y las estaciones segundarias en los productos de tablas de marea de tal forma que los cocientes de marea son usadas para corregir las predicciones diarias de la estación de referencia en las ubicaciones deseadas.

Las predicciones de las corrientes de marea tienen limitaciones similares a las de las predicciones de alturas de marea. Se debe tener extremo cuidado al extrapolar una marea o al hacer una predicción de corriente de marea más allá del lugar de la medición. Este es el caso en especial de las corrientes de marea producto de la naturaleza de la variación espacial en velocidad y la dirección en los estuarios y ríos de aguas poco profundas, los efectos importantes de las fuerzas no-mareales producidas por el flujo del río, la velocidad del viento y la dirección y los patrones de circulación naturales no-mareales. Tanto como para las alturas de marea, las predicciones de las corrientes de marea son mucho menos útiles en áreas con razones bajas del ruido con respecto a la señal (bajo forzante mareal en relación a forzantes no-mareales).

REFERENCIAS

Admiralty Manual of Hydrographic Surveying, Volume Two, The Hydrographer of the Navy, U.K., *Chapter 2, Tides and Tidal Streams,* 1969.

"*Canadian Tidal Manual",* Warren D. Forrester, Ph. D. under contract to Department of Fisheries and Oceans, Ottawa, 1983.

"Computational Techniques for Tidal Datums", NOAA Technical Report NOS CO-OPS 2, U.S. Department of Commerce, NOAA, NOS, December 2003.

"Guidelines for Establishing GPS-Derived Ellipsoid Heights (Standards: 2CM and 5CM)", Version 4.3, NOAA Technical Memorandum NOS NGS-58, November 1997.

"Manual of Tide Observations", U.S. Department of Commerce, Publication 30-1, Reprinted 1965.

"*NOS Hydrographic Survey Specifications and Deliverables",* NOAA, National Ocean Service, Office of Coast Survey, Silver Spring, Maryland, U.S.A., March 2003.

"NOS RTK Team Final Report", NOAA/NOS Team Final Report, August 31, 2000.

"Standards and Specifications for Geodetic Control Networks", U.S. Federal Geodetic Control Committee, September 1984.

"Tide and Current Glossary", U.S. Department of Commerce, NOAA, NOS, October 1989.

"Tidal Datum Planes", U.S. Department of Commerce, Special Publication No.135, Marmer, 1951.

"Tidal Datums and Their Applications", Special Publication No. CO-OPS 1, NOAA/NOS, June 2000.

"Understanding Tides", Steacy Dopp Hicks, December 2004.

"Variability of Tidal Datums and Accuracy in Determining Datums from Short Series of Observations", NOAA Technical Report NOS 64, Swanson, 1974.

CAPÍTULO 6
LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

1. INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista hidrográfico, el Levantamiento Topográfico consiste de una serie de actividades llevadas a cabo con el propósito de describir la composición de aquellas partes de la superficie de la tierra que sobresalen del agua. Incluye el relieve de la costa y la ubicación de accidentes y características naturales o artificiales permanentes.

Tal información es obtenida en parte al determinar la posición de los puntos del terreno, que permiten obtener su forma, como así también los detalles de los accidentes a ser mostrados, permitiendo su ubicación y descripción en la carta. Otros tipos de datos incluyen los procesos de sensor a distancia de la información fotogramética aérea, y otros sensores aerotransportados o productos de imagen satelital. En estos casos es necesario crear puntos de control de campo para ajustar la información al marco de referencia en uso.

El término topografía a menudo tiene otras aplicaciones, por ejemplo en oceanografía se utiliza para representar superficies del fondo marino o límites de algunas características de las masas de agua. Todos estos significados comparten una descripción externa común de superficies que cubren un cuerpo físico.

Este capítulo maneja los métodos aplicables a la descripción de rasgos costeros como parte de los levantamientos hidrográficos, particularmente en relación a la apariencia del terreno y de la ubicación del detalle. Incluye la delineación costera y la posición de las localidades, generalmente relacionados con la línea de la pleamar para los levantamientos marinos, la información de estas áreas va desde esta línea hasta la línea de la bajamar, así como también los rasgos costeros evidentes que permiten al marino posicionarse relativamente cerca de los peligros de la costa.

Excepto en los puertos y en áreas costeras, donde las operaciones o los proyectos son planificados o se espera que sean retomados, es necesario hacer las observaciones detalladas de las formaciones de costa por los métodos de levantamiento topográfico.

En algunos casos, muchos de los levantamientos topográficos pueden ser retomados vía procesos fotogramétricos. En esos levantamientos el apoyo se logra dándole posición a detalles del terreno que pueden ser identificados en las imágenes. Adicionalmente es necesario agregar información que pueda dar una interpretación apropiada de la estructura de los rasgos costeros.

En los levantamientos de costa topográficos es esencial también ubicar todas las ayudas a la navegación dentro del área de estudio; si son necesarias, la red de control geodésica vertical y horizontal debe ser hecha más densa. En todos estos casos, es básico que el sistema de referencia para las coordinadas de levantamiento topográficas, el control geodésico y las ayudas a la navegación (estaciones de referencia, luces, faros, etc) sea consistente con el sistema de referencia utilizado para el resto del levantamiento hidrográfico. Esta es una precaución fundamental para el marino, quien se ubica con el uso de las ayudas al navegante y oros detalles de costa, para poder confiar en las profundidades de cada posición en la carta.

Este capítulo tratará primero con los métodos aplicados al levantamiento sobre el terreno, luego con el ámbito de la percepción remota desde los procesos fotogramaétricos hasta el tratamiento de imagen satelital.

Excepto para reiterar algunos principios, que son considerados esenciales, se asume que el lector ya revisó el capítulo 2 (Posicionamiento) donde los casos relacionados con las coordenadas en el esferoide y el plano, los métodos de control horizontal y vertical y el equipo y los métodos de posicionamiento son tratados con mayor profundidad.

2. TOPOGRAFÍA, DELINEACIÓN DE LA COSTA Y AYUDA AL POSICIONAMIENTO DE NAVEGACIÓN

2.1 Especificaciones

2.1.1 Todos los trabajos deben asumir, como mínimo, las especificaciones contenidas en la publicación S-44 (Estándares para el Levantamiento Hidrográfico de la OHI), particularmente aquellas relacionadas al capítulo 2.

2.1.2 En la Tabla 1 de la S-44, los errores respecto de la posición para otros importantes detalles y rasgos costeros se espera se encuentren bajo los siguientes límites:

TABLA 6.1 (Tabla 1 del S-44)

	Especial	ORDENES 1a y 1b	ORDEN 2
Posicionamiento de ayudas a la navegación fijas y topografía de interés para la navegación (95 % de Nivel Confidencia)	2 m	2 m	5 m
Posicionamiento de línea de costa y topografía de menos interés para la navegación (95 % de Nivel Confidencia)	10 m	20 m	20 m
Posición media de ayudas a la navegación flotante (95 % Nivel de Confidencia)	10 m	10 m	20 m

2.1.3 A través de verificaciones debe confirmarse que el sistema de referencia utilizado para todos los puntos de apoyo es el mismo. La verificación debe incluir un análisis de los registros y cuando existan dudas, se debe incluir la revisión del campo.

2.1.4 Para revisar las precisiones de posicionamiento, una rutina estricta de comparación entre los detalles de punto de control obtenidos físicamente y las coordenadas suministradas debe ser instituida, esto evitará que la situación de las coordenadas de circuitos cerrados de medida regresen al mismo punto de control que está siendo utilizado exclusivamente; en su lugar, otras formas de asegurar la consistencia esperada debe ser incluido. Por lo tanto, al menos una conexión que asegura la transferencia de las coordenadas de un punto de control a otro debe ser incluida en las mediciones aplicadas.

2.1.5 Cuando los servicios de satélite son utilizados (GNSS) para fines altimétricos, se debe asegurar que, además de la precisión del proceso que está siendo usado, las correcciones entre las alturas por encima del esferoide de referencia utilizada y el nivel del mar son lo suficientemente exactos para cumplir los requerimientos de la S-44. el principal propósito de esta precaución es el de cumplir los requerimientos directamente asociados con los niveles de mar, aguas de consumo o tomas artificiales, estudios de proyectos de costa, control de terreno para la fotogrametría, estudios de puertos, etc.

Las excepciones de estos requerimientos son los estudios que se dirigen a mostrar la línea de costa desde el mar, el posicionamiento del nivel del mar para objetos evidentes o las alturas de las luces, señales, faros donde los errores de ± 0.3 m son permitidos para grupos de señales (líneas guía) y hasta de ± 0.5 m para una señal aislada u objeto. En el caso de los puntos de control del terreno dirigidos a definir la forma de la línea de costa, la tolerancia de error puede ser de ± 0.5 para el Orden Especial y de ± 1m para los Ordenes 1 y 2, cuando la inclinación del terreno eestá por debajo al 10%. En inclinaciones más marcadas la tolerancia de error puede ser de hasta ±1 m ±0.8 iH, donde **H** es el error horizontal, que se muestra en la Tabla 6.1 y **i** es la inclinación (tangente de ángulo de elevación)

2.1.6 Los métodos principales para la línea de costa son:

a. Cnemática en Tiempo Real con GNSS (RTK con GPS, etc);
b. Intersección Inversa (EDOM, Sextante, teodolito, etc.);
c. Poligonales (EODM, Estaciones Totales, nivel y mira (estadia), taquimetría o sextante y polo de 10')*,
d. Intersección (EODM, teodolito o sextante);
e. Fotografía aérea;
f. Mapas existentes.

(*) En las poligonales con sextantes y polo de 10', los ángulos horizontales están medidos por sextante (ver el punto 5.3.1 del capítulo 2) así como también las distancias con una mira (estadia) especial, donde un ángulo es convertido en una distancia (método paraláctico, con la medida entre las dos maracas separadas de una distancia conocida)

2.1.7 Los métodos existentes utilizados dependen de la escala del levantamiento, el tiempo y el equipo disponible; es decir, los mapas existentes, donde los detalles pequeños puedan ser mostrados, podría ser utilizado para escalas de 1:50000 ó más pequeñas (1:100000). Similarmente se puede utilizar la fotografía aérea, pero se espera que dichas imágenes sean reducidas e interpretadas como sea necesario en la Oficina Hidrográfica Nacional (OHN).

La restitución fotogramétrica es un método apropiado también (derivado de la información aérea), pero es recomendable para complementar este proceso con los datos de terreno recolectados durante el reconocimiento del campo.

2.2 Métodos de posicionamiento y precisiones

2.2.1 GNSS (ver punto 6.1 en el Capítulo 2)

Los métodos que utilizan sistemas de navegación simples son solamente aplicables a los casos para los que, como se muestra en la Tabla 6.1, los errores de ± 20m son aceptables. Teniendo particular cuidado, incluyendo un cálculo experimental de las correcciones obtenidas en los puntos conocidos antes y después de los períodos de levantamiento, omitiendo períodos de dos horas que contengan salida o puesta del sol, se puede aplicar a casos en los que, de acuerdo a la tabla anterior, se requiere de precisiones de ± 10m a medida que el cálculo de dichos cálculos sean consistentes con los límites dados.

Los métodos que utilizan códigos observables en modo diferencial (DGPS, etc) con las estaciones de referencia en los puntos de control geodésico pueden ser usados para los casos que necesiten ± 5 m para las más altas precisiones. En los casos con más necesidad de exactitud (Ejm, ± 2 m en la Tabla 6.1), los procesos a utilizar deben ser de medida de fase de las ondas portadoras L_1, L_1/L_2, etc.

En estos casos, los siguientes errores de vector posibles deben ser considerados:

TABLA 6.2		
LONGITUD DEL VECTOR	L1	L1/L2
Hasta 10 Km	± 1 cm ± 1 ppm	± 1 cm ± 1 ppm
De 10 a 40 Km	± 1 cm ± 2 ppm	± 1 cm ± 1 ppm
De 40 a 200 Km	N/A	± 1 cm ± 1 ppm
Por encima de 200 Km	N/A	± 2 cm ± 2 ppm (*)

(*) *Con períodos de tiempo apropiados, el equipo especial y el programa software, los errores pueden estar por debajo de ± 1 cm ± 1 ppm.*

En relación a la Tabla 6.2, se debe notar que para el desarrollo esperado del GNSS esperado para 2005, se deberá considerar una actualización con la provisión en la banda adicional L_5 y a la recepción operacional completa compatible al GPS, GLONASS y al GALILEO.

Asimismo, el potencial en aumento de operación utilizando el modo cinemático de tiempo real (RTK) sugiere que su uso puede exceder las capacidades de levantamiento presentes y su uso para algunos controles de posicionamiento de terreno puede esperarse. Al presente (2004), estas técnicas pueden ser consideradas con errores de ± 5 cm ± 5 ppm.

Además, en el desarrollo del GNSS, sin soportar lo anterior, los servicios de diferencia nuevos, adicionales a los que ya existen, son planificados para entrar en operación:

- Terreno – Sistemas de Correción con Base en Tierra (GBASs) con transmisores de las estaciones terrestres cerca de los aeropuertos así como en otros sitios usados intensamente;

- Satélite - Sistemas de Correción con Base Satelital (SBASs) con satélites recibiendo las señales de corrección diferencial de distintas estaciones y luego transmitiendo correcciones ajustadas. Una de las redes más completas programadas para estar en funcionamiento total para 2005 es la llamada WAAS (Sistema de Correción de Área Amplia) patrocinada por la USFAA (Asociación de Aviación federal de Estados Unidos).

Algunos de estos servicios operan con distintas características, aunque se espera que aumenten en número y que introduzcan capacidades más grandes. Esta explotación ha generado la posibilidad de conducir más levantamientos sin la necesidad de establecer estaciones de referencia. Sin embargo, no es recomendable ser demasiado optimistas con su aplicación si no hay una estación de tierra cerca al sistema. Otro método es la implementación de redes de estaciones activas, cuya recepción es centralizada y transmite cálculos de efemérides precisos que son aplicables a una región en particular.

Regresando al equipo de código diferencial con las estaciones de base operando en puntos de control, hay algunos que, por el tratamiento del llamado “submétrico”, puede lograr errores en el orden de 10 cm ± 10 ppm sin usar estrictamente la fase portadora L de los transportadores y permite operar hasta distancias de base - móvil de hasta 10 Km.

Existe una amplia variedad de equipo en oferta pero muy pocos cumplen con esos límites de error. Es, entonces, recomendable revisar los procedimientos con una prueba al estacionarlos en varias distancias de los puntos de control existentes para obtener una evaluación confiable.

Para el resto de este capítulo, se asume que el equipo utilizado esta midiendo las fases de las ondas portadoras (L_1 o L_1/L_2,) con los límites establecidos en la Tabla 6.2 y el error de modo RTK (± 5 cm ±5 ppm) como se mencionó.

Idealmente, para llevar a cabo un levantamiento topográfico, todos los puntos deben ser estudiados desde las estaciones de base con las marcas de control. Donde quiera que los puntos de control no sean suficientes debe ser conveniente incrementar la densidad de estos. La Fig. 1 ilustra este plan, o sea de las marcas de la red existentes, los nuevos puntos de control son generados por los vectores GNSS usando los receptores geodésicos en un modo relativo estático. Para hacer las correcciones a las alturas geodésicas (sobre el esferoide), con el fin de obtener alturas sobre el nivel del mar promedio u otras asociadas a esta (ver capítulo 2), es necesario atarlas en puntos de control altimétricos.

Es deseable que los puntos de control de terreno y las señales de ayuda a la navegación sean calculados, como mínimo, para los dos puntos de control. Métodos más rápidos como los modos de parar y seguir y de cinemática de tiempo real (RTK) puede ser aplicado para estos tipos de puntos de control y para los factores de terrenos estudiados, siempre que cumplan los requerimientos de la tabla 6.1.

Si, mientras se hace el levantamiento, surge la necesidad de generar puntos de control adicionales, deben ser obtenidas de dos puntos de control determinados anteriormente.

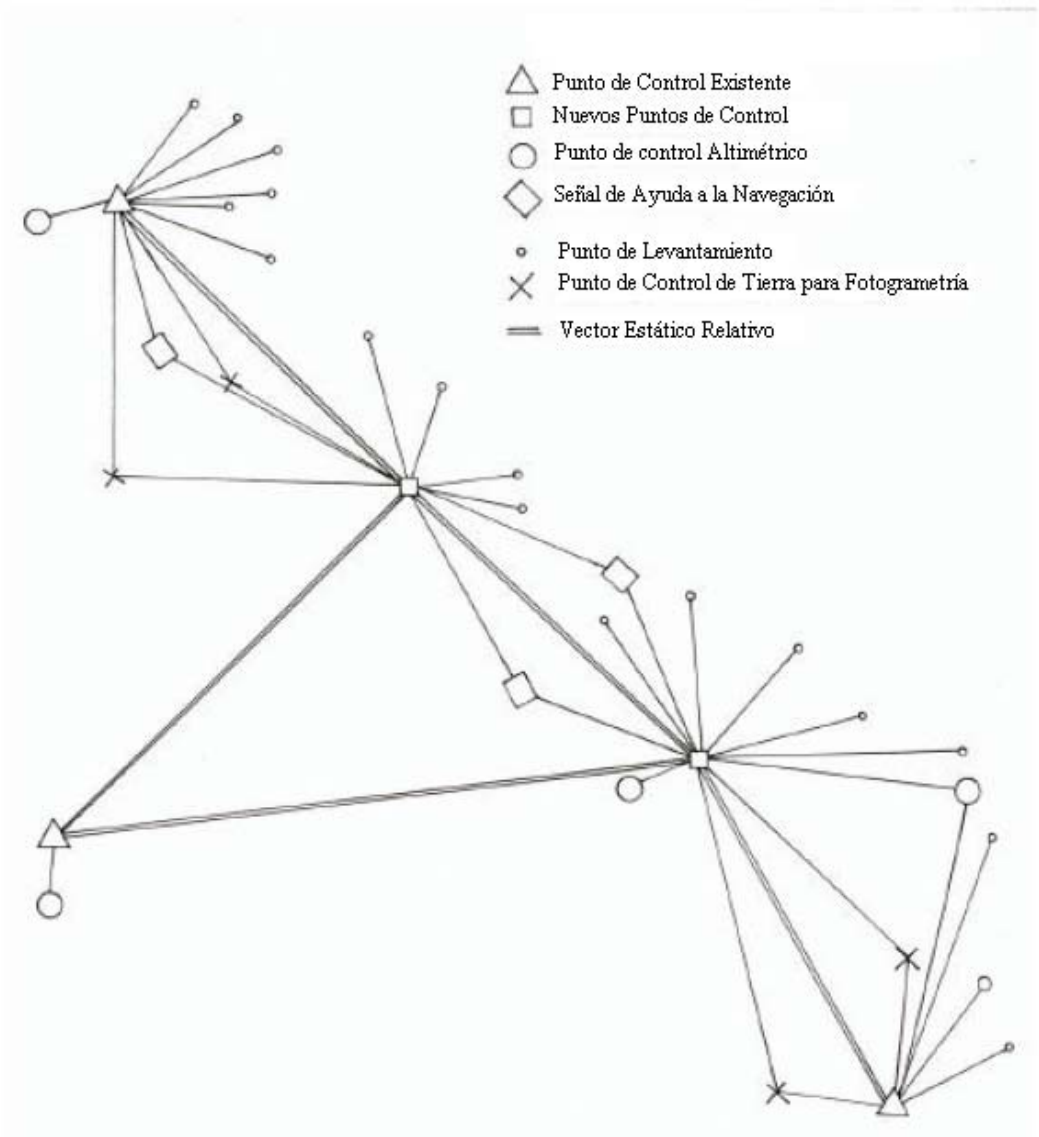


Fig. 6.1

La facilidad de crear nuevos puntos de control así como el costo de la construcción y la preservación de las marcas de nivelación, u otras marcas, es fijando la red para la monumentación mínima. En estos casos, las ilustraciones como en la figura 6.2 se pueden escoger.

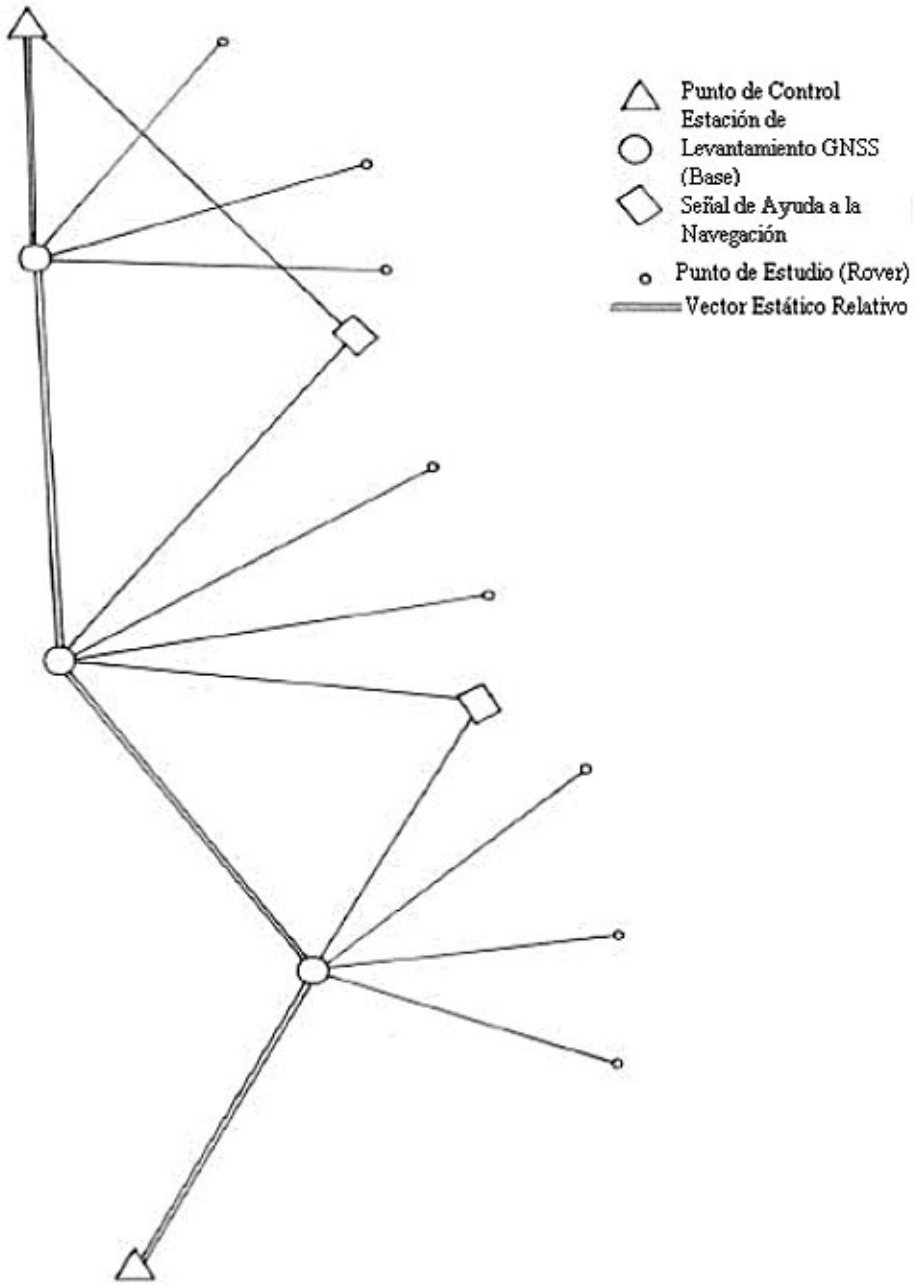


Fig. 6.2

Además de servir como base de la recepción de referencia rover, las estaciones de estudio GNSS están conectadas entre si por el vector de medidas estático relativo, formando, como mínimo, una poligonal entre los puntos de control sin general monumentación adicional. En la mayoría de los casos, estos poligonales habrán sido medidos con los mismos instrumentos de medir los rasgos de levantamiento de tierra.

2.2.2 **Triangulación** (ver punto 3.2.1 en el capítulo 2)

Es una técnica basada en las mediciones angulares princpales. Antes de la mitad del siglo XX, fue el método más común para establecer las redes de control geodésico y para el cálculo preciso de los puntos evidentes, las marcas y las ayudas a la navegación o los puntos de control fotogramétricos de terreno. Desde 1960 el equipo de Medida de Distancia Electrónica (EDM) o el de Medida de Distancia Electro-Óptico (EODM) han remplazado los métodos anteriores. Más recientemente han sido remplazados por los métodos de satélite particularmente desde la cobertura global permanente que fue establecida en el 1990.

La forma más antigua de triangulación para propósitos hidrográficos consistía en una serie de observaciones como en la figura 6.3, con un número relativamente pequeño de lados medidos (líneas de base) y un gran número de medidas angulares, que se muestran aquí con las direcciones observadas. Dicho diagrama proporciona una gran cantidad de redundancia; cada cuadrilátero diagonal-doble tiene tres verificaciones creadas al sumar o restar valores. Sin embargo la escala de la red es determinada todavía por las líneas de base.

En los controles geodésicos desconectados antiguos, la posición y la orientación eran establecidas de las observaciones astronómicas de latitud, longitud y acimut en un datum. En la actualidad, si las marcas son usadas para este tipo de redes, es necesario revisar y recalcular con un GNSS para convertir las coordenadas es un sistema universal como el WGS84 (ver el punto 2.2.3 en el capítulo 2).

En general se debe notar que las distancias de la línea de base puede ser medidas con precisiones entre 1 ppm y 3 ppm,las direcciones desde ± 0.5” a ± 2”, y la transición de una base a otra (que es el contraste entre transfer de la base por el triángulo de la resolución y otra base medida) podría ser chequeada normalmente dentro de los 20 ppm y los 40 ppm.

Estas limitaciones deben ser tomadas en cuenta cuando se trate de ajustar una red de triangulación antigua a una presente con las observaciones del GNSS, con distancias de 200 o 300 km puede haber diferencias de varios metros (2 ó 3). Además de tolerar diferencias en ese orden, es necesario contar con una número suficiente de puntos comunes, bien distribuidos, a fin de que los algoritmos de transformación de datum permitan absorber las típicas distorsiones de las redes antiguas (ver capítulo 2).

Sin respaldar el concepto anterior, se debe evitar la densificación por los GNSS de datums con coordenadas fijas calculadas de triangulaciones anteriores; estos casos frecuentemente llevan a distorsiones y a impresiciones en los resultados finales. Si no se puede evitar debido a la necesidad de mantener las coordenadas de un datum anterior, será necesario adoptar estrategias de cálculo muy particulares y las limitaciones de los valores obtenidos deben ser planteadas con anterioridad.

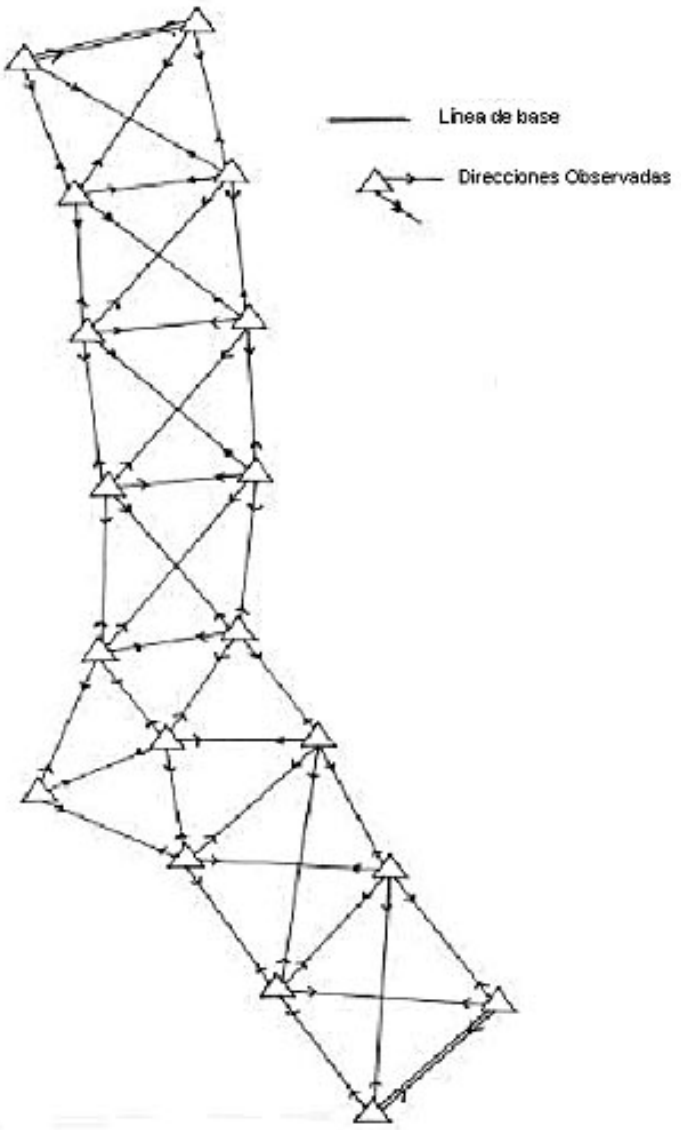


Fig. 6.3

Una red de control con las características de la Figura 6.3 tenía, en general, lados con longitudes de entre 15 a 25 Km, 18 km en promedio, con errores de cierre de triángulo de ± 1” a ± 2”; esto se llamó triangulación de primer orden. La siguiente densificación tenía lados más cortos (de 10 a 15 km) con errores de cierre desde ± 2” a ± 4”; estos fueron llamados triangulación de segundo orden. También hubo triangulación de tercer y de cuarto orden con lados más cortos y más altas tolerancias ± 5”, para la triangulación de tercer orden, y de ± 10”, para la triangulación de cuarto orden. La Tabla 6.3 detalla los valores típicos y los aspectos de estas órdenes.

Tabla 6.3

CARACTERÍSTICAS DE MEDIDAS DE TRIANGULACIÓN					
ORDEN	LONGITUD DE LOS LADOS (Km)	ERROR TÍPICO DE LECTURA DIRECTA DEL TEODOLITO (“) (*)	NÚMERO TÍPICO DE REITERACIONES (*)	ERROR TÍPICO DE DIRECCION (“)	TOLERANCIA DE ERROR DE CIERRE DE TRIÁNGULO(“)
1ro	De 15 a 25	De 0.1 a 0.2	De 9 a 18	De 0.1 a 0.5	De 1 a 2
2do	De 10 a 15	1”	De 6 a 9	De 1 a 2	De 2 a 4
3er	De 5 a 10	De 1” a 10”	De 4 a 6	De 2 a 3	5
4to	De 2 a 10	10”	De 2 a 4	5	10

(*) *Ver el punto 5.3.2 en el capítulo 2*

Para cada orden de trabajo, las coordenadas de las órdenes más altas fueron tomadas como coordenadas fijas y generalmente las líneas de base y las estaciones astronómicas fueron exclusivamente para las dos órdenes más altas.

En el trabajo de orden más bajo, era normal seleccionar unos pocos puntos de orden más alto a la vez, como en la Figura 6.4 a la izquierda; aunque en algunos casos para el control de la densificación se llevó a cabo la selección de las redes de un gran numero de puntos con observaciones de lados más cortas (Fig. 6.4, derecha), particularmente donde quiera que las torres de triangulación hayan sido retiradas. Estas torres fueron utilizadas para elevar la línea de visión sobre los árboles, los rasgos topográficos y otros obstáculos que interfieren en as observaciones. Obviamente su retiro presentó grandes vistas a ser conducidas que llevaron a este tipo de solución.

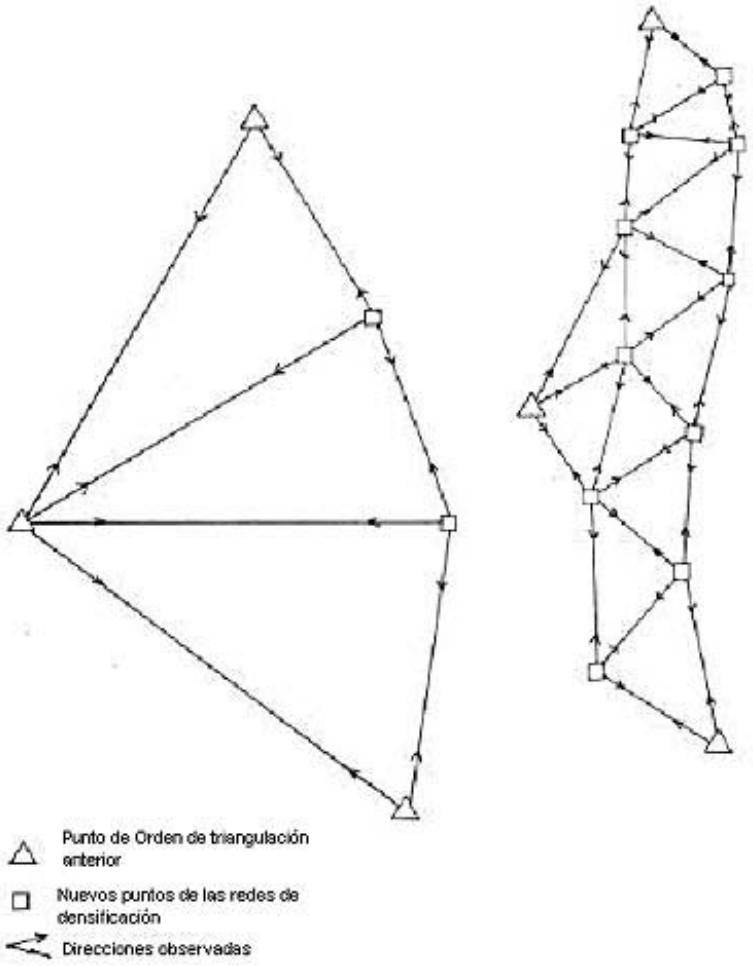


Fig. 6.4

En algunos casos, en el levantamiento hidrográfico, el término *triangulación* ha sido utilizado para describir los puntos de estudio con una triangulación con luces de bengala por intersección (ver 2.2.4). Estas antorchas fueron bajadas con paracaídas verticalmente sobre el punto donde se iban a ubicar y, mientras se quemaban, las direcciones serían observadas simultáneamente desde los puntos de control; esto fue hecho hacia los puntos costeros que necesitaban ser estudiados, ya que muchos no eran visibles. Fueron también utilizados globos, luminosos o movibles y señales elevadas para los mismos propósitos.

El término triangulación se ha utilizado también cuando se miden los ángulos a los puntos de control con un sextante, algunas veces en combinación con las observaciones de dichos puntos. El uso exclusivo de las observaciones de los puntos a ser calculados es tratado como una resección en el punto 2.2.4.

Aunque estas técnicas de estudio se están haciendo obsoletas gracias al uso de otros métodos modernos de más respuesta, son efectivas todavía.

Uno de los problemas típicos de la triangulación es la dependencia de propagación de errores con las formas de la figura, por la que el error del resultado (posiciones) no solo se debe al error de las mediciones, si no que está también relacionado con la geometría de la red. Este problema es tratado para los casos particulares en el punto 2.2.4 aunque admite generalizaciones más generales. Por ejemplo, una cadena simple de triángulos equiláteros es más rígida que una cadena con ángulos desiguales. También, una cadena compuesta por cuadrados con dos diagonales es más rígida que una cadena con rectángulos o trapecios con diagonales similares.

2.2.3 Poligonal (Ver del punto 3.3.1 al 3.3.4 del capítulo 2)

Antes de la década del 1950-1960, el uso de distancias combinadas y direcciones fue restringido a áreas pequeñas pero luego, con el desarrollo de el equipo EDM y EODM, las redes más grandes con lados más largos (5, 10, 15, 20,… km) pudieron crearse. Como se dijo al comienzo del punto 2.2.2, estas técnicas substituyen la triangulación.

Por algún tiempo (alrededor de 1960) una nueva técnica basada en medidas de lados exclusiva (trilateración) (ver el capítulo 3.2.2 en el capítulo 2) fue considerada pero fue rechazada rápidamente, principalmente por la falta de revisiones internas. Para caclarar este concepto, un triángulo simple tiene una condición de cierre angular mientras que un trilátero de la misma forma no tiene forma de ser revisado; un cuadrilátero con dos diagonales y todas sus direcciones medidas, como se dijo en el punto 2.2.2, tiene cuatro condiciones de cierre mientras que la misma figura de trilateración geométrica con sus seis lados medidos tiene sólo una verificación. Esta ventaja de la triangulación es limitada ya que el método necesita de las medidas de algunos lados (línea de base); sin embargo, la trilateración puede ser hecha sin observar los ángulos.

La combinación de ambas técnicas dio resultado a una solución apropiada, aunque algunas veces se le denomina triangulateración, aquí se llamará poligonal, aunque con frecuencia una poligonal puede ser una sucesión simple de ángulos y distancias medidas.

Una de las más importantes propiedades de las poligonales es que el error de propagación es independiente de la configuración; esto es que no se necesita un diseño complejo de red que envuelva geometrías o torres para facilitar ciertas líneas de visión. Desde un punto de vista práctico con este tipo de red, fue posible la uniformidad de los puntos de control con las estaciones de levantamiento o los requisitos de las ayudas a la navegación.

En general, se recomienda mantener un balance razonable entre las precisiones de ambos tipos de mediciones (direcciones y distancias) con el fin de mejorar la independencia de la geometría en relación a la precisión de los resultados. Una de las reglas aplicables es:

$$\frac{\sigma DIST}{DIST} = \frac{\sigma ANG}{200000}$$

Donde ***σDIST*** es la desviación estándar de distancia especificada en la misma unidad como **DIST,** y ***σANG*** es la desviación estándar de una dirección medida especificada en segundos sexagesimales. Entonces, para *σANG* = ± 1” las distancias requeridas son de 5 ppm (1/200000) y para ± 4”, 25 ppm (1/40000) es suficiente.

Los errores angulares o de distancia requeridos nunca deben ser confundidos con las capacidades de resolución o de lectura de instrumentos. Las limitaciones del observador, las condiciones ambientales, las precisiones de corrección, el momento cuando las mediciones se hicieron, etc., deben ser también consideradas.

Por ejemplo, para una medida de distancia inclinada con un ángulo de elevación de 20º y 5 km de longitud, con una diferencia de error de elevación de ± 0.5 m, el error en su proyección horizontal se espera que sea:

$$0.5 \text{ m} \tan 20^{o} = 0.18 \text{ m}$$

Entonces, a pesar de haber sido medidos con el equipo EODM, cuyos errores pueden estar en el orden de ± 1 cm ± 2 ppm, y con el error de distancia inclinada de ± 2 cm, si es utilizada para transferir una posición horizontal, el error es de ± 18 cm.

Una distancia medida con el equipo EDM debe ser ajustada para condiciones ambientales (presión, temperatura, humedad).

La humedad es calculada de acuerdo a la presión y la temperatura con observaciones de bulbo seco o húmedo, es muy importante para las mediciones tomadas por los microondas. No debe tomarse ninguna medición con EDM en una atmósfera sobresaturada (lluvia, niebla, llovizna); con las mediciones de EODM la humedad no es tan importante, aunque se debe considerar el alcance luminoso utilizado. Las radiaciones LASER tienen una ventaja ya que estas son básicamente monocromáticas, es generalmente suficiente obtener los datos de presión y de temperatura. Para las distancias largas (de más de 5 km) se recomienda que los parámetros ambientales en ambos extremos de las distancias a ser medidas sean obtenidos y luego promediados.

Los fabricantes usualmente dan instrucciones para hacer las correcciones necesarias a sus equipos. En el EODM, los prismas del reflector deben ser usados con el equipo con el que la calibración fue hecha para evitar errores de medida en las distancias, algunas veces por encima de 1 cm.

En las distancias superiores a los 5 km se deben hacer correcciones para la curvatura de la tierra y de rayo. Tal corrección es:

$$+\frac{(1-k)^2}{24R^2}D^3$$

Donde **k** es el coeficiente de refracción (relación entre el radio terrestre y el del rayo). En condiciones promedio es 0.25 para las microondas y 0.13 para las ondas luminosas. Es suficiente introducir su valor promedio aproximado como radio de la tierra.

$$R = 6371000 \text{ m}$$

La figura 6.5 ilustra los significados de **D** (la distancia medida) y **S** (la distancia reducida a una superficie de referencia). Esto es necesario para la corrección anterior y para la corrección de puntos de elevación, que se detalla a continuación.

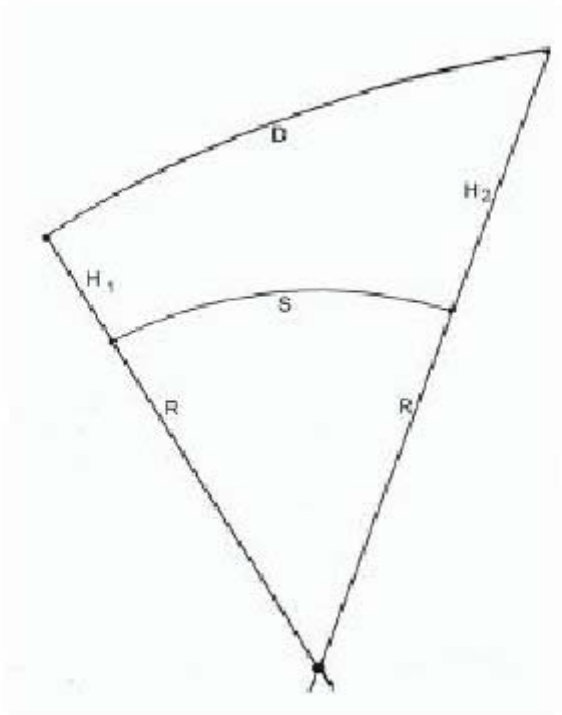


Fig. 6.5

Es importante notar que la corrección anterior para las curvaturas toma en cuenta el efecto geométrico de ambos arcos así como la influencia física producida como una consecuencia de la propagación del rayo a un nivel un poco más bajo que para las condiciones ambientales promedio en ambos extremos.

La corrección para la elevación del rayo y la inclinación es más importante. La expresión general es:

$$S = \sqrt{\frac{D^2 - (H_2 - H_1)^2}{(1 + \frac{H_1}{R})(1 + \frac{H_2}{R})}}$$

La forma en que dichas elevaciones son obtenidas, especialmente su diferencia ΔH= (H2 –H1), afectan el error de corrección. Al simplemente considerar el numerador:

$$S \approx \sqrt{D^2 - \Delta H^2}$$

Podemos deducir la influencia:

$$dS \approx \frac{\Delta h}{\sqrt{D^2 - \Delta H^2}} d\Delta h = i d\Delta H$$

Mencionada anteriormente. Por lo tanto, el error de diferencia de elevación debe ser multiplicado por la inclinación, **i = tan α**, para obtener la influencia producida en el error de distancia corregido.

En los levantamientos topográficos es usual hacer cálculos en las coordenadas de plano; para este propósito, es necesario tener las correcciones aplicadas anteriormente a la proyección de plano. La forma en que este tipo de correcciones pueden ser calculadas se detalla en el punto 2.2.5.

La forma general y más correcta de calcular una red poligonal en el plano de representación es a través de un cálculo anterior de las coordenadas para cada punto nuevo comenzando con los valores de los puntos conocidos y de las observaciones no corregidas. Es necesario promediar algunos resultados obtenidos de diferentes puntos de arranque con observaciones adicionales redundantes Cuando las coordenadas provisionales hayan sido aceptadas, las correcciones anteriores deben ser aplicadas y luego las ecuaciones de observación sean obtenidas también, las cantidades desconocidas de las que son las correcciones a las coordenadas, para conducir ajustes cuadrados al menos.

Si alguna observación excede los niveles de tolerancia (máximo el error admisible) los registros originales deben ser revisados, si no se encuentra la causa aparente relacionada al tipo de error se debe considerar la remedición.

En algunos circuitos poligonales un ajuste aproximado se puede lograr al distribuir el error de cierre del ángulo primero y luego el error de cierre de la coordenada proporcional a la longitud lateral o algún otro criterio lógico.

El error de cierre angular en poligonales debe ser menor que :

$$\pm\left(5''+2''\sqrt{n}\right)$$

Cuando **n** es el número de estaciones angulares que construyen el circuito. En poligonales segundarias, con la intensión de aumentar la densidad de los puntos de control, el error puede llegar a:

$$\pm\left(10''+10''\sqrt{n}\right)$$

Cuando el propósito está limitado a las coordenadas fijas de los detalles costeros, las tolerancias más grandes pueden ser permitidas.

Los errores de cierre de las coordenadas no deben ser más que los valores establecidos en la Tabla 1 dependiendo del uso de la red, notando que las coordenadas de ajuste para los puntos intermedios tendrán errores en el orden de la mitad del error de cierre. Sin embargo, para las redes de control, los errores de cierre no deben ser mayores a ±(0.2 m + 10 ppm), para las redes de apoyo los errores de cierre no deben ser mayores a ± (0.2 m + 10 ppm) en el apoyo primario y de ± (0.5 m + 100 ppm) para las estaciones secundarias para cumplir con los requerimientos del punto 2.1.2.

Cuando los errores son mayores a la tolerancia poligonal, hay métodos disponibles para ayudar a ubicar la fuente de error. Por ejemplo, cuando un error de cierre en coordenadas, no angular, es detectado, el acimut de cuadrícula del lado sospechoso se puede calcular a partir de las componentes del error de cierre en coordenadas. Sin embargo, si hay un error de ángulo mayor, los ángulos no deben ser ajustados, al calcular la poligonal en ambas direcciones, sólo en el punto afectado se encontrarán los valores de la coordenada aproximadamente.

Cuando una red es compensada rigurosamente por mínimos cuadrados, a partir de coordenadas provisionales, a través de la matriz de varianza - covarianza, el proceso permita el cálculo de los errores de coordenadas ajustadas. Un cálculo similar en una poligonal puede no ser tan claro ya que los errores de cierre de las coordenadas son más generales. En dichos casos se puede estimar que los puntos del medio pueden tener error del orden de la mitad del de cierre, disminuyendo hacia cada extremo.

Los cálculos de los poligonales en las coordenadas planas son muy simples. El acimut de cuadrícula de arranque es obtenido de los incrementos en **ΔE, ΔN.** Dos puntos de control cuyas coordenadas sin conocidas de antemano son representados como **P** y **Q** en la Figura 6. Entonces:

$$\operatorname{tg} B_{PQ} = \frac{E_Q - E_P}{N_Q - N_P} = \frac{\Delta E_{PQ}}{\Delta N_{PQ}}$$

Donde los signos $\mathbf{\Delta E_{PQ}}$ y $\mathbf{\Delta N_{PQ}}$ (+/-) también difieren el cuadrante.

Si el acimut disponible estuviese referido al norte verdadero, en vez de a la cuadrícula, se debe tener en cuenta la convergencia meridiana γ (la definición que es dada en el Anexo A), esto debe ser tomado en cuenta. Desde este punto hacia delante sólo las orientaciones de plano (marcación de cuadricula) serán consideradas. Además, si una proyección Poligonal Mercator es usada, se asume que las correcciones a las observaciones (distancias y direcciones) para la representación del plano han sido hechas de acuerdo a las especificaciones en el punto 2.2.5.

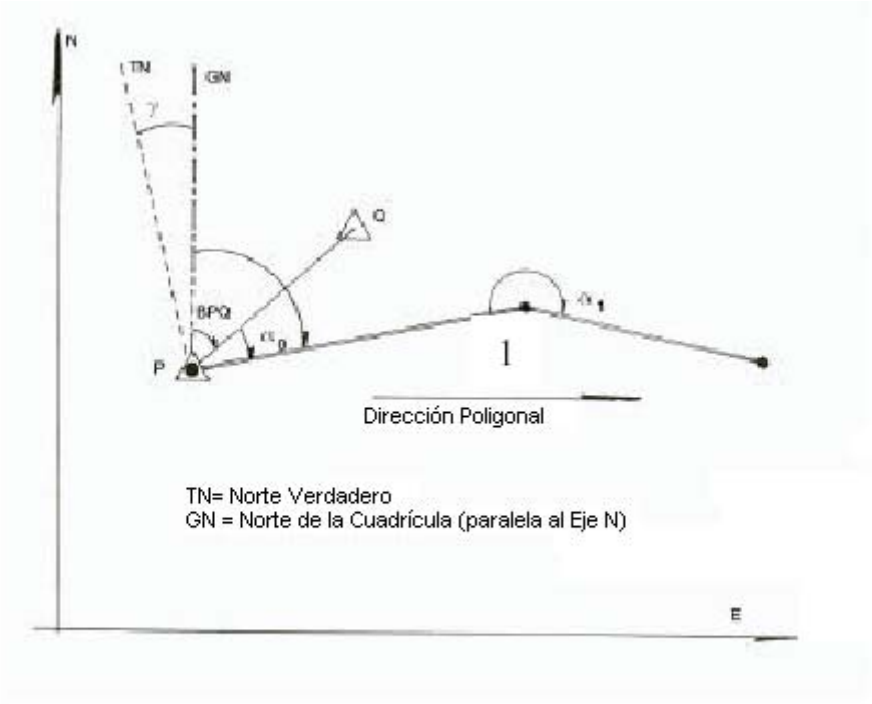


Fig. 6.6

Regresando al cálculo de una poligonal, el acimut de cuadrícula del primer lado es obtenido al simplemente agregar el primer ángulo:

$$B_{P1} = B_{PQ} + \alpha_0$$

$$B_{12} = B_{P1} + \alpha_1 \pm 180°$$

Y usando la siguiente forma general de transferencia de marcación:

El signo + es usado en caso de que la suma anterior ($\mathbf{B_{P1} + \alpha_1}$) sea menor a 180º y el signo – cuando sea superior. Este último es el caso más común.

Los aumentos en las coordenadas son obtenidos con las expresiones para convertir las coordenadas polares en las coordenadas de plano:

$$\Delta N = S \cos B$$
$$\Delta E = S \text{ sen } B$$

Se debe recordar que, en los casos de poligonales simples, antes de hacer dichas conversiones, es normal ajustar un ángulo al distribuir el error de cierre si está por debajo del nivel de tolerancia dado. En poligonales más complejas, los cálculos de las redes pueden ser suplementados con algoritmos relacionados a las intersecciones o resecciones de acuerdo a las descripciones en los puntos 2.2.4 y 2.2.5. Los requerimientos de ajuste mencionados anteriormente deben ser también considerados.

En relación a los ajustes, sus respectivos métodos no serán desarrollados más. Ya que se espera que estos procesos sean desarrollados en la OHN donde se tenga el software apropiado. Debe ser recordado, sin embargo, que los buenos resultados serán logrados sólo si las data es revisada en el campo para asegurar que los errores de cierre o el cálculo de coordenadas de punto llevadas a cabo por los diferentes métodos muestren una consistencia aceptable con las especificaciones anteriores.

Se considera que una poligonal simple está completamente cerrada si comienza de un par de puntos de control y termina en otro par. Existen entonces tres errores de cierre posibles disponibles: un error de cierre de ángulo y dos errores de cierre de coordenadas. Este caso es ilustrado al principio de la Figura 6.7; permite un ajuste angular inicial y una distribución subsiguiente de las diferencias en las coordenadas. Hay un caso especial de una poligonal cerrada simple que hace un circuito, comenzar y terminar en el mismo punto. Aunque puede ser revisado apropiadamente como se detalló anteriormente, no es recomendable conducir dichos métodos por las razones expuestas en el punto 2.1.5.

A una poligonal simple se le da el nombre de medianamente cerrada cuando desde el punto final de apoyo no ha sido medida una dirección a otro, esto significa que no es posible efectuar una verificación ni ajuste angular. Sin embargo, si los errores de cierre de las coordenadas son aceptables, una distribución similar como en el caso anterior puede ser llevada a cabo como se ilustra en el segundo caso de la Figura 6.7.

Se estima que una poligonal simple esté inciertamente cerrada cuando, aunque comience y termine en los puntos de control no hay dirección de medida final con una orientación. La única revisión es la de confirmar que la distancia medida entre los puntos de control **P** y **R** generados de las poligonales es muy consistente con la distancia calculada de sus coordenadas conocidas; ésta ilustrada en el tercer caso en la Figura 6.7. La manera más simple de calcular la distancia es al darle una orientación arbitraria o aproximada para el cálculo inicial y al rotar la orientación y ajuste de la longitud de acuerdo a las diferencias en el punto final.

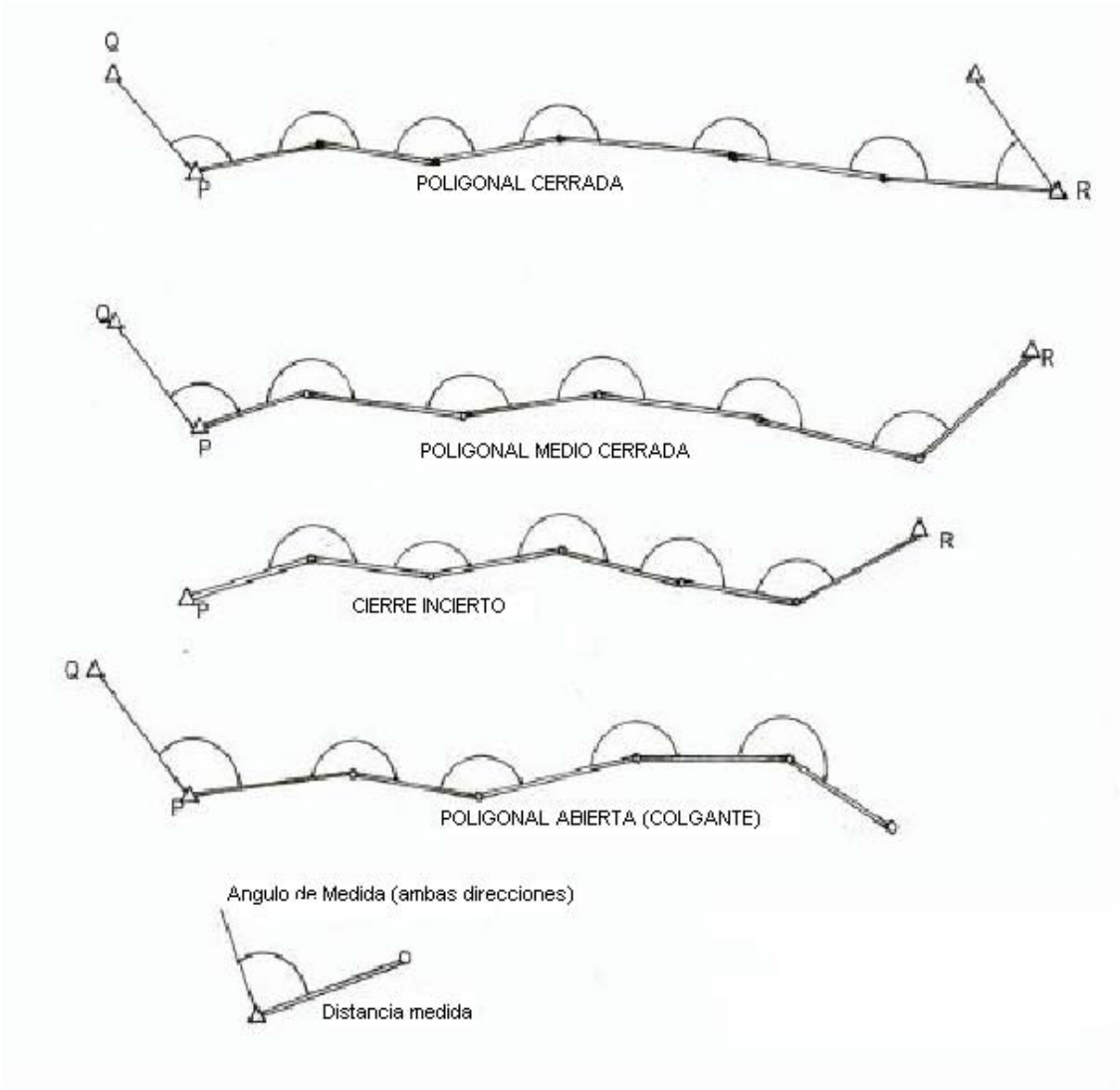


Fig. 6.7

Se considera que una poligonal simple es abierta, no cerrada, o poligonal colgante sólo su comienza desde los puntos conocidos pero termina en marcas desconocidas, entonces no se puede hacer el ajuste o la verificación de cierre; esta no es una configuración recomendada. Cuando es la única alternativa, se debe tener extremo cuidado y en la naturaleza temporal de los resultados siguientes debe ser claramente descrito.

Las poligonales están asociadas muy de cerca con las operaciones de nivelación trigonométrica. Estas consisten de una serie de medidas tomadas para determinar las diferencias en las elevaciones por los ángulos verticales. (ver el punto 4.2 en el capítulo 2).

La manera más precisa de obtener una diferencia trigonométrica de elevación consiste en medir la distancia directa entre los puntos y los ángulos verticales recíprocamente y simultáneamente desde ambas estaciones:

$$\Delta H_{12} = \frac{i_1 + s_1}{2} - \frac{i_2 + s_2}{2} + D\,\mathrm{sen}\left(\frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2}\right)$$

Donde (ver Figura 6.8):

i_1 = altura del teodolito sobre la marca de nivelación en el punto 1;
s_1 = altura de la señal (objetivo) sobre la marca de nivelación en el punto 1;
i_2,s_2 = alturas de señal y de teodolito sobre la marca de nivelación en el punto 2;
D = inclinación y distancia elevada (ver Figura 6.5);
ΔH_{12} = diferencia de elevaciones entre las marcas de nivelación 1 y 2.

Los ángulos de elevación (α) son positivos cuando están por encima del horizonte y son negativos cuando están por debajo del horizonte. En la Figura 6.8 α1 es el ángulo positivo y α2 es el ángulo negativo. Es necesario para ambos ser simultáneamente medidos para el ajuste correcto de la curvatura del rayo, que cambia durante el día.

Una diferencia de elevación trigonométrica obtenida bajo estas condiciones puede tener un error de

$$\pm 0.01 \text{ m} \cdot \text{K}$$

Donde **K** es la distancia expresada en kilómetros, que es un error de 1 cm/Km.

Si la distancia de inclinación (**D**) no ha sido medida y la distancia al terreno reducida al nivel de referencia, comúnmente el nivel del mar promedio, está disponible, que es el caso de la triangulación o intersección (ver Figura 5), la formula a ser aplicada es:

$$\Delta H_{12} = \frac{i_1 + s_1}{2} - \frac{i_2 + s_2}{2} + S\left(1 + \frac{Hm}{R}\right)\text{tg}\left(\frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2}\right)$$

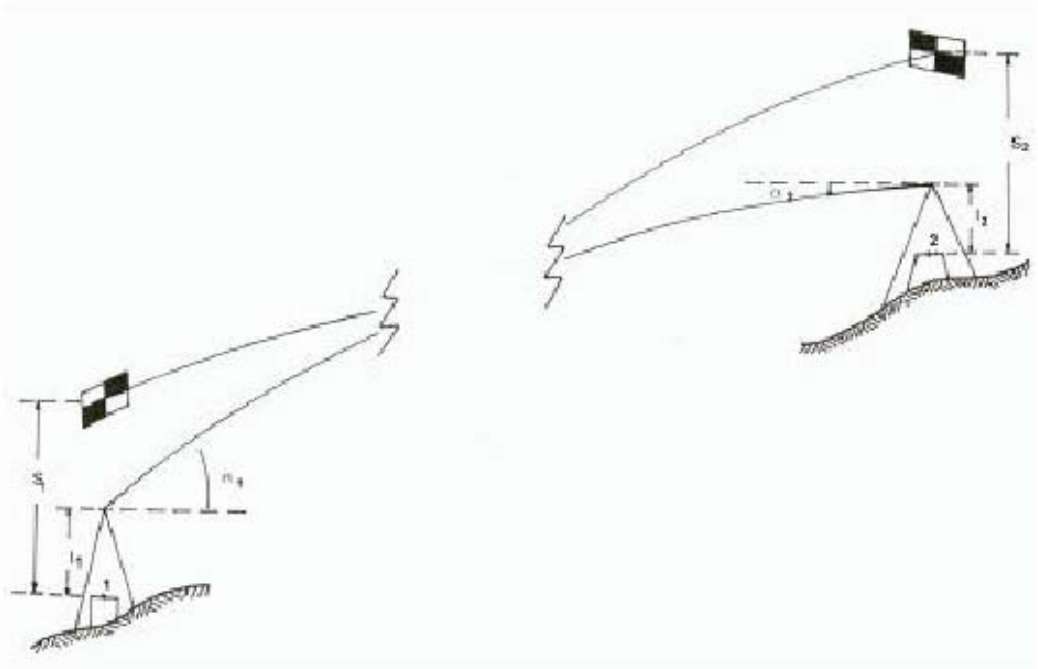


Fig. 6.8

Si el ángulo de elevación es conocido sólo en el punto 1, las formulas a ser aplicada son:

$$\Delta H_{12} = i_1 - s_2 + D\text{sen}\alpha_1 + \frac{(1-k)}{2R} D^2$$

$$\Delta H_{12} = i_1 - s_2 + S\left(1 + \frac{Hm}{R}\right) tg\alpha_1 + \frac{(1-k)}{2R} S^2$$

En las últimas tres formulas, **R** es el radio promedio terrestre, en principio 6371 Km, pero un valor relativo más correcto a la latitud y el acimut puede ser usado para el esferoide adoptado. Lo mismo es válido para la formula anterior para transferir **D** a **S** (ver Fig 6.5).

$$S = \sqrt{\frac{D^2 - \Delta H^2}{\left(1 + \frac{H_1}{R}\right)\left(1 + \frac{H_2}{R}\right)}}$$

$$Hm = \frac{H_1 + H_2}{2}$$

Hm es la elevación promedio

Si sólo $\mathbf{H_1}$ esta disponible, se puede calcular como:

$$H_m = H_1 + \frac{\Delta H_{12}}{2}$$

Donde $\mathbf{\Delta H_{12}}$ es obtenida por un proceso reiterativo que mejora el valor de $\mathbf{H_2}$.

El coeficiente **k** tiene el significado dicho anteriormente y puede ser considerado que tenga un valor de:

$$K = 0.13 \pm 0.05$$

Entonces el error de la diferencia trigonométrica no recíproca de elevación pude ser:

$$\pm (0.01 \text{ m K} + 0.004 \text{ m K}^2)$$

El uso de la nivelación trigonométrica es ideal para ambos, para reductor los lados resultados de las diferencias de elevación y la altura y para otros requerimientos altimétricos para sobrepasar las precisiones posibles.

2.2.4 Intersección e Intersección Inversa

La forma más general de intersección es cuando las direcciones son observadas desde dos puntos de apoyo hacia una señal cuyas coordenadas sean requeridas. Las direcciones en la orientación significan que las direcciones son medidas desde las mismas estaciones a otros puntos conocidos, siendo posible obtener las marcaciones de cuadrículas de ambas direcciones. En algunos casos muy especiales estas son orientaciones astronómicas o giroscópicas; en dichos casos se requiere pasar desde el acimut verdadero al de cuadrícula, aplicando la convergencia meridiana, mostrada como γ en la Figura 6.6.

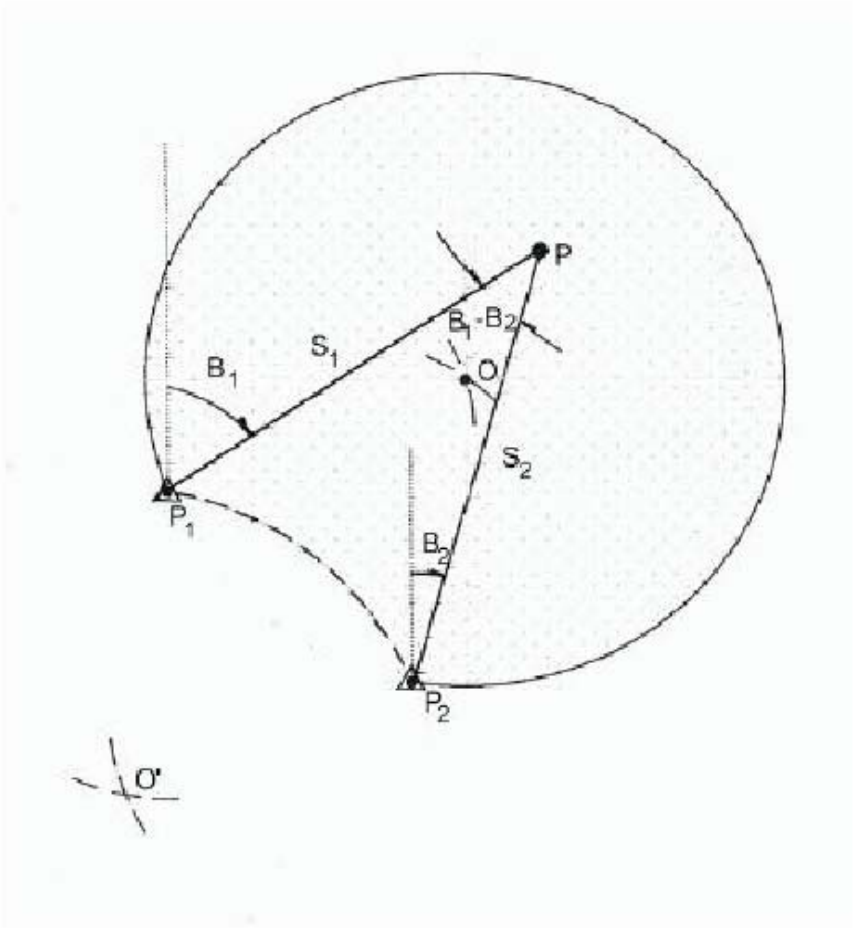


Fig. 6.9

La Figura 6.9 muestra un ejemplo de intersección típico. Se debe dejar claro que en algunos casos, especialmente en las distancias cortas, las direcciones reciprocas entre los puntos conocidos (P_1, - P_2; $P_2 – P_1$) son usados como el origen de las orientaciones de plano (B_1; B_2) al punto a ser determinado (P).

Además de los errores de marcación de la cuadrícula que surgen principalmente de los errores angulares (P_1, - P_2; $P_2 – P_1$) y al ángulo entre estas direcciones, que es igual a la diferencia (B_1 - B_2), contribuye a los errores en las coordenadas de P. la regla más simple es que el ángulo debe medir ente 30º y 150º. El área para esta condición está sombreada en la Figura 6.9 y corresponde a los límites de dos círculos centrados en O y O' que son obtenidos como los vértices de dos triángulos equiláteros con un lado común P_1P_2.

Fuera de esta área, los errores aumentan enormemente para alcanzar la indeterminación para B_1 - B_2 cuando son iguales a Oº o 180º.

Otro caso de intersección es mostrado cuando las distancias son medidas desde P_1 y P_2 al punto a ser determinado (P). Estas distancias (S_1 ; S_2) definen dos soluciones simétricas en relación al eje P_1 - P_2. para solucionar esta ambigüedad se debe conocer si P está en el lado izquierdo de P_1 a P_2 (este es caso en la figura), o en el lado derecho (un caso simétrico). Una solución alternativa es al notar, cuando se ven desde P, que es el punto conocido a la derecha o a la izquierda (en el caso de la Figura 6.9, P_1 está a la derecha y P_2 está a la izquierda).

Los algoritmos para hacer las correcciones al plano y obtener las coordenadas de P, tomando en cuenta los casos mencionados, se tratan en el punto 2.2.5.

En los casos de intersección, las direcciones (líneas rectas) o distancias (arcos), las mejores soluciones son obtenidas cuando el ángulo de cruce (B_1 - B_2) tiende a los 90º. En estos casos la elipse de error tiende a ser un círculo. Estrictamente hablando, tomando en cuenta que los errores en las direcciones medidas y las distancias aumentan su influencia con la distancia y dichas soluciones ideales difieren muy poco de la regla de 90º, su uso, sin embargo, es una buena forma de examinar rápidamente la conveniencia de la instalación.

El caso de la intersección inversa (resección) más común es cuando tres puntos de control conocidos son observados desde un nuevo punto, como en la Figura 6.10. Este caso es usualmente conocido como la resección Pothenot-Snellius.

En este caso, la indeterminación ocurre cuando el punto nuevo está ubicado cerca de la circunferencia que pasa por los tres puntos conocidos. Los mismos ángulos (**α, β**) a los puntos de control pueden ser medidos a cualquier punto ubicado en esa línea. Es relativamente fácil evitar esta situación al delinear en una carta los puntos de control conocidos y viendo si ellos están en un círculo el cual pasa cerca del punto desconocido. Otro método es revisar la suma:

$$\alpha + \beta + \omega$$

Si está cerca de los 180º tal situación debe ser evitada.

El algoritmo para solucionar este caso, incluyendo las correcciones para calcular en el plano de proyección, es mostrado en el punto 2.2.5.

Las resecciones han sido muy frecuentemente usadas por los hidrógrafos, en el levantamiento topográfico por el levantamiento por sextante de teodolito y de levantamiento hidrográfico. Siendo la ventaja que era sólo necesario poner las señales en los puntos de control, el hidrógrafo es entonces libre de llevar a cabo sus tareas sin la ayuda desde tierra.

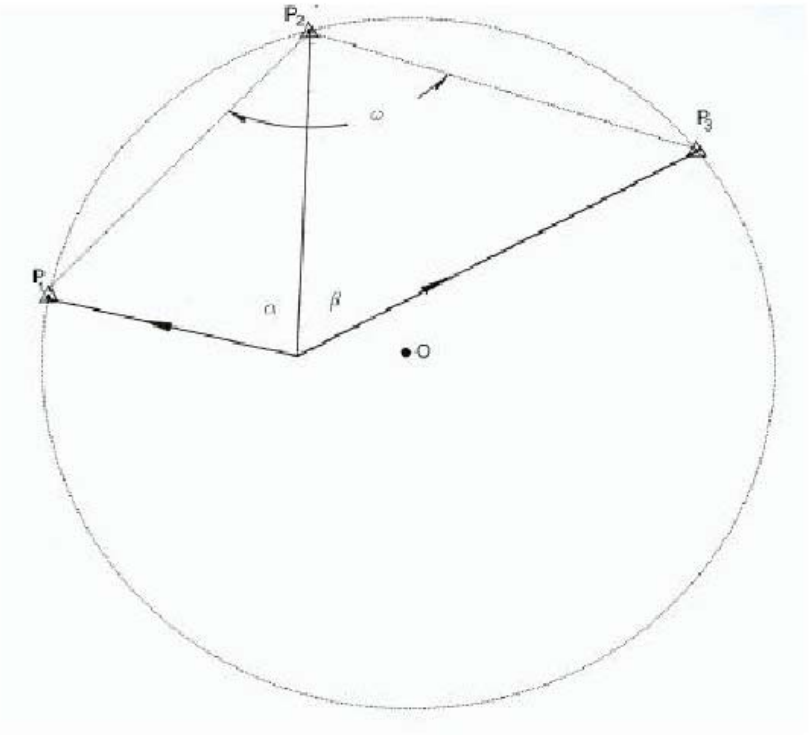


Fig. 6.10

Es posible presentar las resecciones múltiples dadas generalmente en la Fig. 6.11.

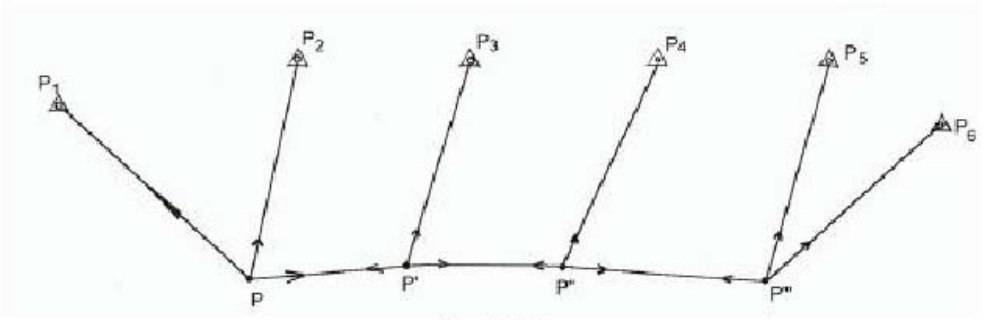


Fig. 6.11

Eso es desde nuevas direcciones de puntos P, P', P'', P''', P'''',… a puntos conocidos P_1, P_2 … P_6 son vistos. En estos casos se debe notar que en el primer y último punto, son vistos dos puntos de control conocidos; en los puntos intermediarios, además de sus direcciones recíprocas, un vistazo a uno de esos puntos es suficiente.

Donde sólo hay dos puntos nuevos y cuatro puntos de control son vistos, se conoce como la solución Marek. Si sólo los dos puntos de control vistos desde los dos puntos nuevos son usados, es llamada la solución Hansen. Estos casos particulares son mostrados en la Figura 6.12.

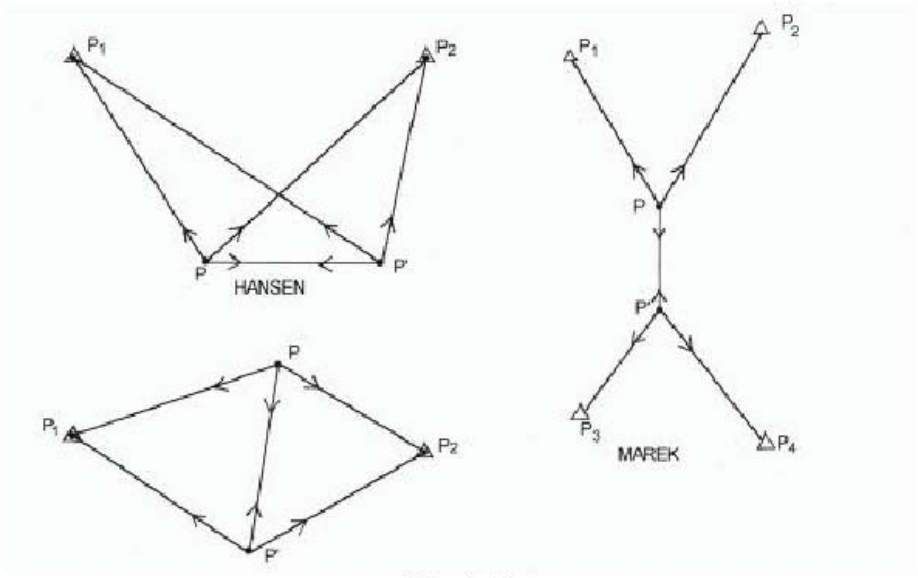


Fig. 6.12

Aunque estos casos de resección múltiple pueden ser usados cuando sea requerido, no son recomendados debido a sus limitadas oportunidades de revisión. Una solución simple a aplicar es al incorporar vistas adicionales para dar la redundancia y la oportunidad de revisar.

Por lo tanto, más de tres direcciones a los puntos conocidos deben ser vistas desde cada punto nuevo, o que los nuevos puntos serán interconectados por líneas de vista recíprocas, como se muestra en la Figura 6.13; aunque cada punto nuevo es determinado por direcciones a tres puntos conocidos, las líneas recíprocas de vista entre los puntos nuevos los incluye en los cálculos de puntos adyacentes.

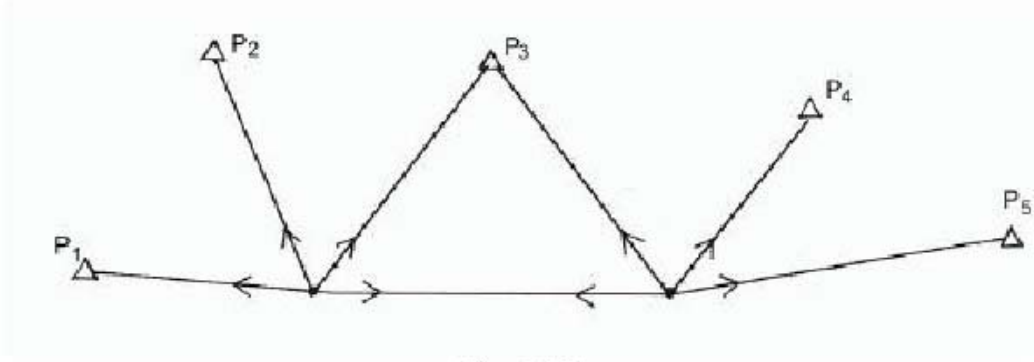


Fig. 6.13

Las configuraciones originalmente cerca de la indeterminación pueden ser mejoradas de esta forma.

Las soluciones de este tipo requieren algún tipo de ajuste, bien rigurosamente por cuadrados mínimos o por promedio reiterativo de varias soluciones positivas al tratar de dar más fuerza a los casos alejados de la situación de indeterminación.

2.2.5 Algoritmos usuales

a) Correcciones al plano de proyección (Ver ANEXO A)

Uno de los procesos a ser conducido para los cálculos con figuras rectilíneas en el plano de representación a ser correcto está relacionado con las correcciones que deben ser aplicadas a las observaciones medidas (distancias y direcciones). En esta sección debemos trabajar con la proyección Gauss Krüger, también conocida como Poligonal Mercator, que es casi siempre usada para cálculos topográficos.

El ANEXO A trabaja con la naturaleza de esta proyección para casos de “cilindro tangente”, o sea aquellos en los qie las deformación de distancia comienza en el meridiano central:

$$m = \frac{ds'}{ds} = 1 + \frac{x^2}{2R^2} + \ldots$$

Donde **x** es la coordenada Este referida al meridiano central:

$$x = E - X_0$$

Cuando un valor $\mathbf{X_0}$ falso de Este es usado.

Si este coeficiente es aplicado entre dos puntos 1 y 2 (no infinitamente cercanos) una relación:

$$\frac{S'}{S} = 1 + \frac{x_1^2 + x_1 x_2 + x_2^2}{6R^2}$$

Es obtenida. Debe ser notado que si un punto está a un lado del meridiano central y el otro punto en el otro lado, el producto $\mathbf{x_1 \cdot x_2}$ será negativo.

También debe considerarse que **R** (Radio medio terrestre) debe ser calculado para la latitud media del área de trabajo y el sistema de representación incluye un coeficiente **K** para contraer distancias sobre el meridiano central, como en el caso, de la representación UTM (donde K = 0.9996, ver ANEXO A). El coeficiente para reducir distancias (para obtener el valor del plano al multiplicarlo por el valor geodésico sobre el esferoide) debe ser afectado por el mismo valor:

O

$$\frac{S'}{S} = K\left(1 + \frac{x_1^2 + x_1 x_2 + x_2^2}{6R^2}\right)$$

$$S' = K\left(1 + \frac{x_1^2 + x_1 x_2 + x_2^2}{6R^2}\right)S$$

Las direcciones medidas también requieren de la aplicación de una corrección. Esta surge necesariamente del hecho de que las líneas geodésicas (en el elipsoide), al ser transferidas al plano, resultan representadas con una leve concavidad hacia el meridiano central.

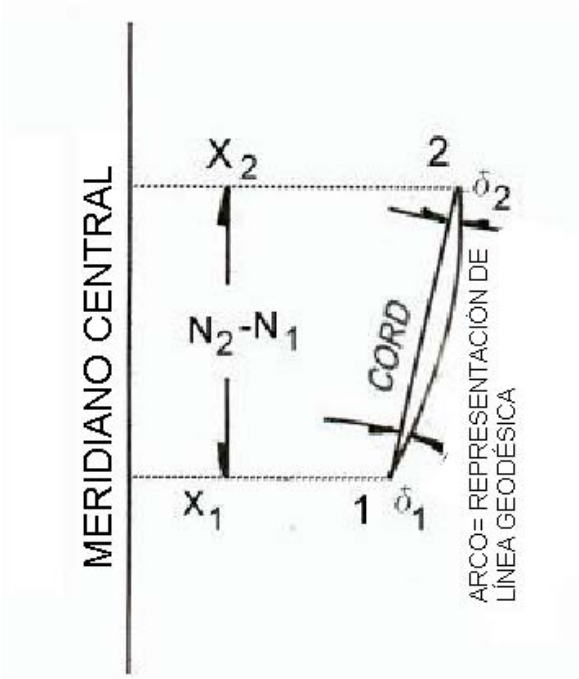


Fig. 6.14

La Figura 6.14 muestra dicha curvatura y las correcciones que deben ser aplicadas para pasar del arco, perteneciente a la línea geodésica, a la cuerda, corresponde al lado de una figura de lados rectilíneos en el plano. Aceptando el signo de la corrección para pasar del arco a la cuerda, debemos ver que:

$$(\delta_2 - \delta_1) = \frac{\rho''}{2R^2}(x_1 + x_2)(N_2 - N_1)$$

Debido a que el valor absoluto de adición para dichas correcciones debe ser equivalente al exceso esférico cuadrilátero cuya superficie es ½(x_1 + x_2) (N_2 - N_1) y ρ" es la constante típica para pasar de radianes para pasar5 de radianes a segundos sexagesimales (ρ" = 206265")

Ya que la curvatura del arco aumenta con los valores **x,** naturalmente la **x** del punto de la estación conocida carga más peso que la del punto observado. Entonces:

$$\delta_1 = \frac{\rho''}{6R^2}(2x_1 + x_2)(N_1 - N_2)$$

$$\delta_2 = \frac{\rho''}{6R^2}(2x_2 + x_1)(N_2 - N_1)$$

Y la diferencia entre ellos lleva a la primera expresión (δ_2 - δ_1).

En términos generales, si existe la necesidad de reducir una serie de direcciones de puntos **Pi** medidos de un punto **Po,** las correcciones (contemplando sus signos) son:

$$\delta_i = \frac{\rho''}{6R^2}(2x_0 + x_i)(N_0 - N_i)$$

Se debe notar que en sentido oeste del meridiano central los valores **x** son negativos; entonces la señal de corrección que genera un cambio en la concavidad es automáticamente modificada. Asumiendo que la dirección entre la estación conocida y el punto observado estén en diferentes lados de ese meridiano, el cambio de signo de **x** reducirá el valor **δ** Esto es lógico ya que la línea geodésica representada tendrá una inversión en su curvatura para mantener la concavidad anteriormente mencionada.

Para los cálculos de las correcciones de ambas distancias y direcciones, es normal hacer un cálculo preliminar de las coordenadas de las marcas e ignorar cualquier deformación. Las correcciones están estimadas usando estas coordenadas provisionales y luego se hace el cálculo final. En algunos casos las coordenadas provisionales son utilizadas para ajustes; sin embargo, esto no será tratado con mayor profundidad.

b) Intersección de Direcciones

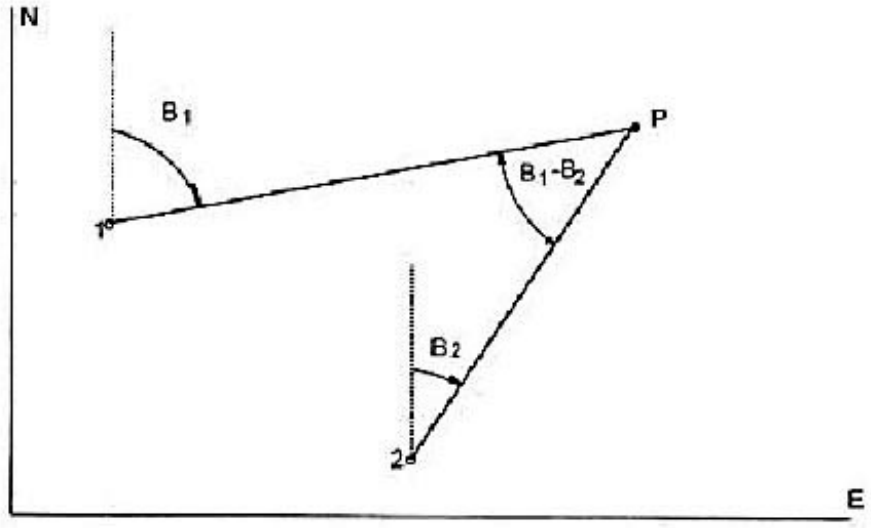


Fig. 6.15

La Figura 6.15 muestra una intersección de dos direcciones, de las que las marcas de cuadrícula B1 y B2, son conocidas. Puede ser el caso que hayan sido obtenidas de la línea de observaciones vistas 1-2 y 2-1.

Existen varias soluciones y softwares para solucionar este problema. Uno de ellos es:

$$N = N_1 + \frac{\left[(N_1 - N_2)\,\mathrm{sen}B_2 - (E_1 - E_2)\cos B_2\right]}{\mathrm{sen}(B_1 - B_2)}\cos B_1$$

$$E = E_1 + \frac{\left[(N_1 - N_2)\,\mathrm{sen}B_2 - (E_1 - E_2)\cos B_2\right]}{\mathrm{sen}(B_1 - B_2)}\,\mathrm{sen}B_1$$

c) Intersección de Distancias

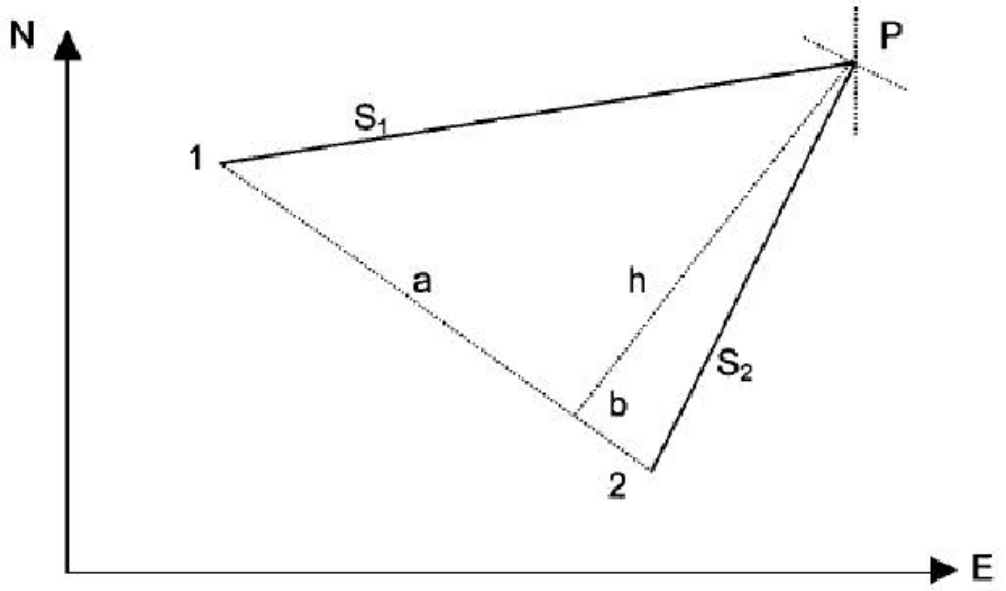


Fig. 6.16

Este caso es ilustrado en la Figura 6.16, tiene dos soluciones matemáticas; por lo que es importante dejar claro si el punto P está a la izquierda (como en el caso de la figura), o a la derecha de la línea 1-2.

Una solución es aplicar los siguientes cálculos:

$$S_{12} = +\sqrt{(N_2 - N_1)^2 + (E_2 - E_1)^2}$$

$$\text{sen } B_{12} = \frac{E_2 - E_1}{S_{12}}$$

$$\cos B_{12} = \frac{N_2 - N_1}{S_{12}}$$

$$a = \frac{1}{2}\left(S_{12} - \frac{S_2^2 - S_1^2}{S_{12}} \right)$$

$$b = \frac{1}{2}\left(S_{12} + \frac{S_2^2 - S_1^2}{S_{12}} \right)$$

$$h = +\sqrt{S_1^2 - a^2} = \sqrt{S_1^2 - b^2}$$

$$N = N_1 + a \cos B_{12} \mp h \text{ sen } B_{12}$$

$$E = E_1 + a \text{ sen } B_{12} \pm h \cos B_{12}$$

La señal más baja es para el caso cuando P está a la izquierda de 1-2 y la señal más alta es para cuando está a la derecha.

d) Intersección Invertida

Como se dijo en el punto 2.2.4 anteriormente una resección ocurre cuando las direcciones o ángulos son medidos:

Desde un punto nuevo, para el cálculo de este caso es requerido que sea hacia tres puntos conocidos. Esta situación, así como también la nomenclatura a ser usada en el algoritmo, es mostrada en la figura 6.17.

Antes de continuar, se debe notar que existen muchas soluciones gráficas, numéricas y mecánicas con las que obtener la posición del punto de estación.

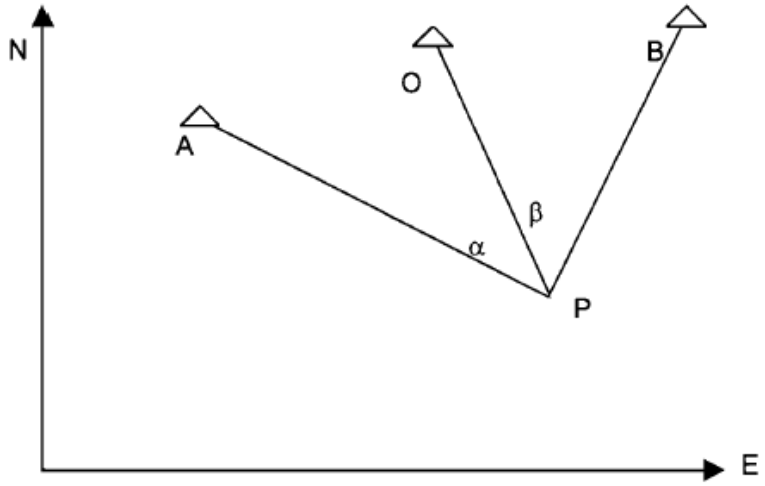


Fig. 6.17

Con esas soluciones numéricas, es esencial que el método cuente con la disponibilidad de detectar casos cercanos a la indeterminación como se indica en la Figura 6.10.

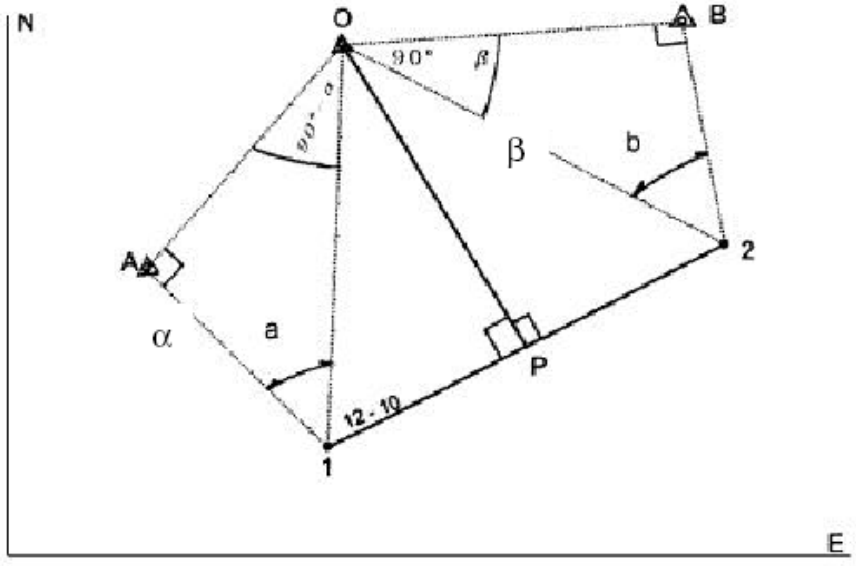


Fig. 6.18

El uso de dos puntos auxiliares 1 y 2 constituyen la base para el algoritmo, propuesto a continuación, es mostrado en la Fig. 6.18.

La fórmula para calcular las coordenadas para estos puntos pueden ser obtenidas simplemente de:

$$N_1 = N_A - (E_0 - E_A)\cot g\alpha$$
$$E_1 = E_A + (N_0 - N_A)\cot g\alpha$$
$$N_2 = N_B - (E_B - E_0)\cot g\beta$$
$$E_2 = E_B + (N_B - N_0)\cot g\beta$$

Cuando los puntos 1 y 2 están muy cerca entre ellos (por ejemplo menos de un décimo de las distancias AO o OB) se puede asumir que la red está cerca de la indeterminación.

El cálculo para las coordenadas N y E de punto P pueden ser logradas por:

$$N = N_1 + \overline{10}.\cos .(\overrightarrow{12} - \overrightarrow{10}).\cos .\overrightarrow{12}$$
$$E = E_1 + \overline{10}.\cos .(\overrightarrow{12} - \overrightarrow{10}).\text{sen} .\overrightarrow{12}$$

Donde

$\overline{10}$ = a la distancia desde 1 a 0 = $\sqrt{(N_0 - N_1)^2 + (E_0 - E_1)^2}$

$\overrightarrow{12}$ = a la marcación de cuadrícula de 1 a 2 = $[\text{tg } \overrightarrow{12} = (E_2 - E_1) / (N_2 - N_1)]$

$\overrightarrow{10}$ = a la marcación de cuadrícula de 1 a 0 = $[\text{tg } 10 = (E_0 - E_1) / (N_0 - N_1)]$

Cuando se calculan las orientaciones $(\overrightarrow{12}, \overrightarrow{10})$ es necesario que los cuadrantes estén discriminados con los signos ΔE y ΔN. Para este fin puede hacer uso de las subrutas normales para pasar de las coordenadas de plano a las coordenadas polares.

Otra forma de solucionar la última parte del cálculo es obtener las coordenadas de P como la base perpendicular de 0 al segmento 12 haciendo uso de las subrutas disponibles en los programas Diseño de Ayuda-Computarizado (CAD)

Algunos cálculos de revisión pueden ser establecidos aunque el método más completo es el de calcular las marcaciones de cuadrículas desde P a los puntos conocidos (A, O, B) y luego verificar

$$\alpha = \overrightarrow{PO} - \overrightarrow{PA}$$
$$\beta = \overrightarrow{PB} - \overrightarrow{PO}$$

2.2.6 La nivelación y sus errores

La nivelación trigonométrica y sus errores posibles han sido discutidos en el punto 2.2.3 (poligonal). Se debe notar que el caso de las intersecciones una similar operación puede ser tomada con los algoritmos y los cálculos resultantes. También es posible aplicarlos para las levantamientos usando las coordenadas polares o taquimetría EODM, cuando es particularmente útil tener las estaciones totales con medidas (horizontales y verticales) guardadas y direcciones a los puntos estudiados. Al procesar dicha información y cuando las medidas sobre 100 m son usadas, es importante verificar que la aplicación del software incluye las correcciones para la refracción y las curvaturas de la tierra.

La nivelación directa (con nivel de burbuja u horizontalización automática)) es generalmente más precisa. En el caso de la nivelación geodésica, que requiere del uso de niveles de más alta sensibilidad y la mira parlante graduada en INVAR platea (una alineación de níquel y de acero con un coeficiente de expansión por debajo a 1 x 10^{-6} 1/ºC) y otra medida precaución, error de propagación puede estar por debajo:

$$1\ mm\sqrt{K}$$

Donde **K** es la distancia de recorrido expresada en Km.

Si se utilizan niveles topográficos comunes con miras de plástico o madera centimetradas con acoplamientos (charnela o telescópica), distancias instrumentos mira debajo de 100m, con estaciones equidistantes (dentro de 3 m), se puede obtener precisiones en el orden de:

$$7mm\sqrt{K}$$

Para lo que se considera que cada tramo entre puntos fijos de nivelación se mide en ambas direcciones (sentidos) con una tolerancia de :

$\pm$ 3 mm $\sqrt{K}$ (geodésica) y $\pm$ 10 mm $\sqrt{K}$ (topográfica)

Para ambos casos, sin parcialización a cualquier solución intermedia o hasta menos precisa que pueda ser adoptada.

En el levantamiento hidrográfico, las precisiones más altas son requeridas a unir permanente estaciones de marea seguidas por estaciones temporales, que son generalmente establecidas durante el levantamiento, el cálculo de los niveles para las instalaciones de puerto y los estándares para los trabajos de ingeniería asociados con el comportamiento del agua.

En el levantamiento hidrográfico extensivo (más de 50 km) sin datums de nivelación local disponibles, es oportuno dar, como mínimo, una línea de nivelación directa a las que las estaciones de marea puedan relacionarse y dejar una marca de referencia de las que las nivelaciones trigonométricas futuras pueden ser hechas. Cuando se aplica estas provisiones las especificaciones en el punto 2.1.6 deben ser consideradas y un análisis de la estabilidad de la relación de la estación de marea y de los niveles promedio del mar es necesaria.

Cuando se usan los métodos de satélite (GNSS) con fines altimétricos, las provisiones en el punto 2.1.6 del capítulo 2 necesitan ser revisadas paraticularmente el requerimiento para modelar correcciones para pasar de las alturas sobre el esferoide a los valores asociados con el nivel del mar usado en los levantamientos hidrográficos. Sin importar los diagramas de corrección presentes que puedan existir, es necesario ajustarlos a los puntos altimétricos como se describió en el punto 2.2.1, incluyendo las provisiones de la Figura 1, conectado a la relación entre las marcas altimétricas. En otras palabras, el uso de las técnicas de GNSS para fines altimétricos debe ser limitado al punto de

interpolación en vez de al de extrapolación. Se espera que este concepto evolucione en el futuro pero en el 2004 permanece sin confianza en los modelos de corrección general y aún menos en lugares donde no hay garantía de que las observaciones locales han sido llevadas a cabo para crearlas.

2.3 Levantamientos de costa y de terreno de puerto

2.3.1 Aplicación de los métodos topográficos directos

En general, los levantamientos costeros que son parte de los levantamientos hidrográficos son mayormente llevados a cabo por fotogrametría u otros procesos de sensor remoto. En dichos casos la labor principal del hidrógrafo, cuando procesa la información, consiste de obtener una interpretación adecuada de las características costeras, que la delimitación costera no posee dificultadas y que los datos en los puntos de control del terreno está dada adecuadamente. También debe asegurarse que las señales de ayuda a la navegación y las estaciones tienen sus posiciones horizontales y verticales determinadas apropiadamente.

Sin embargo, hay casos en los que toda esta información debe ser obtenida por los métodos de levantamiento topográfico directo, es decir, por observaciones y mediciones de campo. Estos casos generalmente relacionados a la necesidad de representar ciertas áreas a mayores escalas (1:5000, 1:2000. 1:1000 …). Esto ocurre frecuentemente en áreas donde hay una infraestructura de puerto donde un proyecto de puerto, de aterrizaje, de toma de agua u otro trabajo de ingeniería se está llevando a cabo o se extiende para ocupar la zona inter-marea y excede a la siguiente línea de costa.

La extensión limitada para estos lugares así como el alto grado requerido de detalle puede requerir que dichos levantamientos sean llevados a cabo por las mediciones topográficas de campo.

2.3.2 Densidad de los puntos a ser estudiados

Primeramente, el grado de detalle requerido debe ser establecido. El método usual es el de colocar una escala de acuerdo a las necesidades representaciones esenciales del producto final, para obtener adecuadamente la forma resulta necesario levantar un punto cada centímetro cuadrado (de la representación). Sin embargo, tal distribución no será estrictamente homogénea. Se le debe dar prioridad a los puntos donde hay un cambio importante en la pendiente o donde haya rasgos importantes: lomas, hoyas, puntos de silla, dorsales, líneas de drenaje (talweg), etc.

Generalmente, los puntos levantados sobre líneas perpendiculares y cercanas a la línea de costa proveen mucha más información útil para la representación óptima de la forma que cualquier otro tipo de distribución.

Para detalles que deben ser estudiados para permitir la representación de las características naturales o artificiales, más o menos independientemente del relieve, la cantidad de los puntos debe ser suficientemente adecuada para permitir el delineado de ellas a la escala seleccionada, las secciones rectas probablemente solo necesitan el estudio de puntos de quiebre y hay una disposición ortogonal, la simplificación puede ser mayor.

2.3.3 Métodos Aplicables

Las técnicas de satélite (GNSS) son ideales para estudiar posiciones horizontales. Si se quiere que éstas sean extendidas a posiciones planimétricas y altimétricas, las provisiones detalladas en el punto 2.2.1 deben ser observadas. Generalmente el proceso es más ventajoso cuando la densidad de los puntos a ser estudiados es baja (es decir más de 50 o 100 m entre ellas para las escalas de 1:5000, 1:10000, etc.). Cuando lo permite el terreno, este proceso puede ser logrado al colocar una estación rover en un vehículo. La oportunidad de procesar las información de una manera automática mejoraría rápidamente el logro de los resultados.

La taquimetría EODM es un método partcularmente apropiado para los casos donde, desde pocas estaciones, los puntos con distancias de 1000 m y más pueden ser estudiados. El uso de estaciones totales, con su capacidad de almacenar las distancias, direcciones (horizontales y verticales), atributos de los puntos levantados, etc, facilita para procesar rápidamente la información y generar las hojas de estudio apropiadas que pueden ser completadas con los datos adicional si se necesita.

La taquimetría estadimétrica es especialmente apropiada para los lugares donde se requiere el levantamiento de un gran número de puntos muy cercanos entre sí (50, 20, 10 m) a partir de distancias (instrumento - mira) relativamente cortas … (por debajo de los 200m) desde cada estación. La lectura de las líneas del retículo es hecha estadías graduadas en centímetros generalmente.

La distancia del terreno es obtenida como **K.m**, donde **K** es la constante de la estadía, normalmente de 100, y "**m**" es la diferencia de lecturas de las líneas de las estadías. Si un ángulo de elevación α ha sido medido, la distancia en el terreno del equipo horizontal a la estadía es :

$$K \bullet m \cos^2 \alpha$$

y la elevación relativa al punto de estudio es igual a:

$$\Delta H_{12} = i_1 - S_2 + K \cdot m \cdot \frac{1}{2} \operatorname{sen} 2\alpha_1$$

donde $\mathbf{i_1}$, $\mathbf{S_2}$ y $\boldsymbol{\alpha_1}$ tienen los significados dados en 2.2.3 para la nivelación trigonométrica.

En el caso de líneas con una inclinación de visión muy grande (α> 10º), este método no es recomendado para la transferencia de altura ya que el error de distancia (del orden de 0.2%) y la probable falta de visión de la verticalidad introduce errores altimétricos considerables (esto es menos frecuente en la taquimetría EODM).

Teniendo divisiones con la estadía especial de 5 cm o 10 cm, las distancias del levantamiento pueden excederse a 500 m o más, aunque no se recomienda en el caso de las líneas con una inclinación de visión muy grande por las razones anteriores.

Todos estos procedimientos permiten el cálculo, por la formula anterior, de las 3 coordenadas horizontales y verticales de la marca. En algunos casos estas coordenadas y sus orientaciones pueden ser obtenidas por la resección complementada con la nivelación trigonométrica inversa, basada en la adecuación de la formula dada en el punto 2.2.3.

En áreas planas la nivelación directa es un método de estudio simple y preciso. Si es necesario las distancias estadimétricas (k.m) pueden también ser usadas así como también las direcciones horizontales que pueden se medidas por otros instrumentos.

En lugares relativamente planos, con construcciones de forma ortogonal se puede medir distancias con cinta y un escuadra óptica. Aunque pueda ser simple, demuestra ser un método útil a ser aplicado en algunos lugares como en los muelles, malecones, amarraderos y otras construcciones de puerto. Este tipo de estudio es usualmente complementado con la nivelación directa con el fin de determinar la plataforma o elevaciones del piso.

2.3.3 Representación del Relieve

Aunque la intención es la de generar bases de datos que provean una variedad de aplicaciones para la información a través de un Sistema de Información Geográfico (GIS), implicando la disponibilidad de un Modelo Digital de Terreno (DTM), las mediciones planimétricas y altimétricas son solicitadas frecuentemente para ser representadas líneas de nivel (o contorno). Para esto, la selección de un intervalo (equidistancia) debe recaer en no menos de cuatro veces el error estimado de elevaciones.

Un método alternativo de seleccionar el intervalo de contorno es el de escalas. En el caso de un terreno muy quebrado, el número de miles de denominador de la escala se puede tomar en metros (ejemplo; 5m para 1:5000), pero en el caso de un terreno plano y de un terreno sin rasgos, los valores pueden disminuir a la décima parte (0.5 m en el ejemplo anterior).

Ambos criterios deben ser armonizados y básicamente, el propósito del levantamiento así como la fluctuación del relieve en el área deben ser tomados en cuanta.

Muchos paquetes de software están disponibles para dibujar las líneas de contorno de puntos estudiados discretamente. Algunas de estas han demostrado ser muy capaces pero es conveniente ajustar sus algoritmos de dibujo al incorporar algunas reglas de interpretación para el relieve antes de la versión final.

La figura 6.19 muestra como las líneas de drenaje tienden a acentuar la curvatura de línea de nivel, mientras que las dorsales que dividen el movimiento del agua en la superficie son más suaves. Estas tendencias generalmente sobrellevan cambios y la colectividad de contornos que representan el relieve debe mantener algún acuerdo.

Los conceptos mencionados anteriormente son válidos para la aplicación en la forma del terreno; sin embargo, no todos son válidos para aplicarlos en el fondo marino.

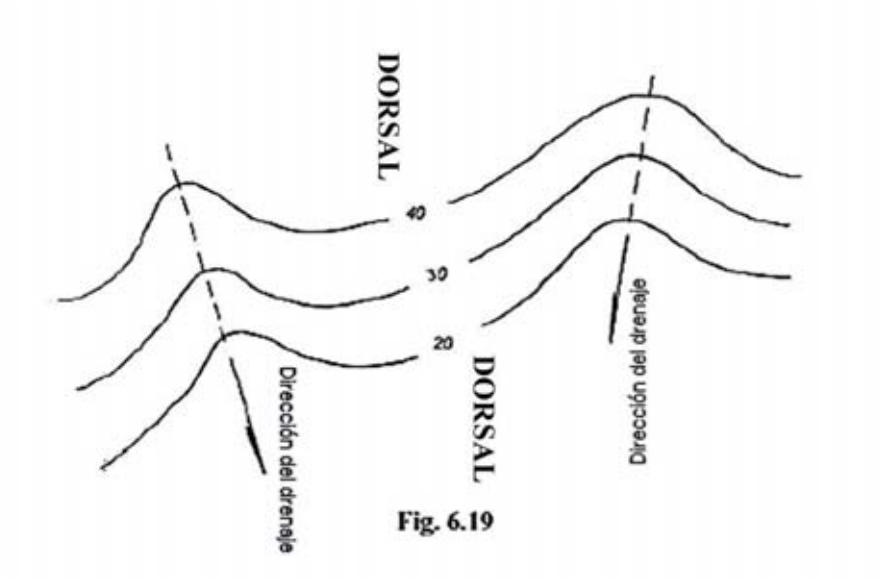


Fig. 6.19

Con algún conocimiento geomorfológico, el criterio debe ser mejorado generalmente para una mejor interpretación del relieve.

3. PERCEPCIÓN REMOTA

Algunas técnicas para obtener la información con los sensores remoto, que capturan la radiación del terreno, serán descritas en esta sección. Esta información es guardada y luego procesada, generando entonces los productos que dan los datos topográfica.

Si las radiaciones de terreno se originan de la energía solar reflejada, los sensores son llamados pasivos; si son generadas de la emisión reflejada de los equipos asociados con el sensor, los sensores son llamados activos.

El rango de frecuencias y longitudes de ondas electromagnéticas para el percepción remoto es mostrada en la Tabla 6.4:

TABLA 6.4

NOMBRE	FRECUENCIA (Hz)	ALCANCE DE LA ONDA (m)
Microondas	3×10^{9} a 3×10^{11}	10^{-1} a 10^{-3}
Infrarojo termal	3×10^{12} a 3×10^{14}	10^{-5} a 10^{-4}
Infrarojo medio y cercano	4.3×10^{14} a 3×10^{13}	0.7×10^{-6} to 10^{-5}
Luz visible	... 4.6×10^{14} Roja ... 0.65×10^{-6} ... 5.4×10^{14} Verde ... 0.55×10^{-6} .... 6.6×10^{14} Azul ... 0.45×10^{-6} ...	
Ultra violeta	3×10^{15} a 3×10^{16}	10^{-7} a 10^{-8}

La ondas de radio tienen la frecuencia más baja mientras que los rayos x, gamma y cósmicos tienen las más altas. También tienen otras aplicaciones.

Entre los usos de sensores pasivos, la que usa radiaciones de luz visible y de sus aproximaciones cercanas, es la Fotogrametría. Desde que esta técnica comenzó a ser aplicada con las películas sensitivas a la luz, ha sido utilizada en los estudios hidrográficos desde comienzos del siglo XX, y sigue siendo una de las vías más eficientes de obtener buena información del relieve, especialmente en las escalas mayores (1:20000, 1:10000, 1:5000, ...).

Desde los años 1970 y con mayor intensidad en los 1980, las aplicaciones de sensor remoto se extendieron de ser aerotransportadores activos y pasivos y sensores de satélites a otros procesos de imagen. Los métodos de satélite no tienen generalmente la misma capacidad que la fotogrametría en la interpretación del terreno y de la forma. Sin embrago, tienen capacidades adicionales para detectar las propiedades superficiales del suelo y áreas cubiertas por el agua. También ofrecen capacidades de actualización impresionantes, frecuentemente a costos relativamente bajos.

En la fotogrametría, así como en otros procesos de imagen, es necesario contar con operaciones de apoyo en terreno con el fin de lograr los resultados de escala correctos y de obtener buenas posiciones de referencia. El control del terreno consiste en determinar la posición, en el campo, los puntos identificables basados en la información entregada por los sensores.

3.1 Fotogrametría (ver el punto 3.4 del capítulo 2)

Estrictamente hablando, la fotogrametría es la técnica que permite a los objetos ser descritos en tres dimensiones de las imágenes fotográficas solapadas, tomadas de los lugares cercanos. Para los levantamientos hidrográficos, la fotografía aérea con el eje vertical a través de una cámara métrica es más útil.

La descripción 3D es lograda por la vista estereoscópica de los modelos virtuales y las mediciones son tomadas con el uso de instrumentos específicos para lograr la representación topográfica. Por supuesto, esta técnica requiere de los puntos de control de terreno obtenidos de los métodos topográficos de campo o la densificación a través del proceso fotogramétrico, también llamado aerotriangulación.

Existen otros productos que no son 3D pero pueden se considerados como parte de la fotogrametría. Entre estos mosaicos fotográficos, que pueden ser obtenidos del ensamblaje simple de las imágenes fotográficas o ajustadas por rectificación o enderezamiento (escala e inclinación).

3.1.1 Principios y aplicaciones de las fotografías aéreas

El objetivo de las fotografías aéreas es el de dar la información para obtener la representación verdadera del terreno incluyendo el relieve. Esto puede hacerse con la resolución fotogramétrica. Sin embargo, como se dijo anteriormente en el concepto de fogrametría, existen otros productos 2D que pueden ser obtenidos de las fotografías aéreas.

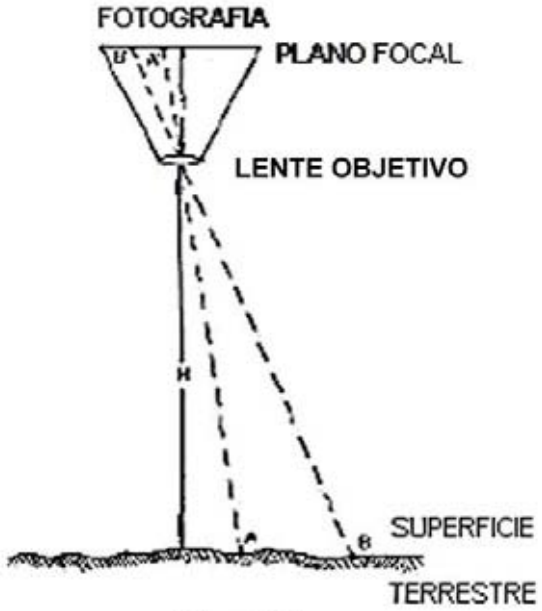


Fig. 6.20

Para explicar que es necesario tomar en cuenta la expresión básica de la escala fotográfica aérea:

$$S = \frac{A'B'}{AB} = \frac{f}{H}$$

Donde la relación entre la longitud focal **f** y la altitud de vuelo **H** es directamente relacionada a la escala de la imagen (ver Fig. 6.20 para una cámara con eje vertical).

Aunque los lentes de objetivo pueden ser considerados como un sistema óptico centrado con dos nodos, el esquema es simplificado con un solo centro óptico similar a los lentes delgados. Esta simplificación es suficiente para el cálculo aproximado de la escala de vuelo. Ver también que, como H >>F, se asume que la imagen esta formada en el plano focal.

Un cambio en la altura de vuelo causa un cambio en la escala; la falta de verticalidad en el eje de la cámara produce un cambio en la escala en diferentes puntos de la cámara. Por ejemplo, un rectángulo ABCD en el terreno puede ser representado como un trapecio A' B' C' D' en la imagen fotográfica donde la escala de segmentos A' B' es más corta que la C' D' (Ver Fig. 6.21).

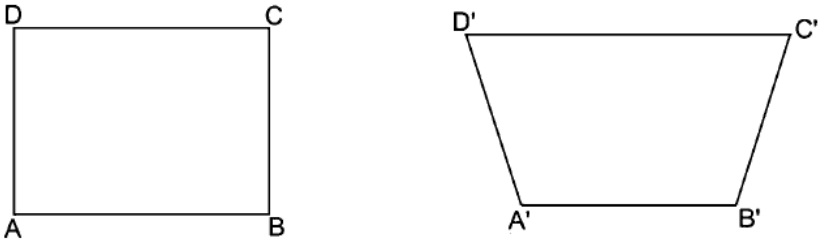


Fig. 6.21

Además, si existen factores en el relieve con características verticales importantes, la escala introduce otros cambios en cada fotografía. Esto solo puede ser resuelto por un tratamiento de restitución 3D. Un ajuste del cambio en la altura de vuelo y la orientación del eje es posible por la rectificación a través del proceso de fotografía 2D. Note que este ajuste es posible solamente en superficies planas.

Equipos especiales pueden cumplir con el proceso de rectificación mencionado anteriormente al utilizar rectificadores equipados con una cámara, que proyecta la imagen sobre un tablero. El equipo permite una serie de movimientos combinados que permite a la imagen proyectada cambiar e incluir inclinaciones de acuerdo a las condiciones de enfoque. La manera actual de rectificar es al hacer la proyección de cuatro puntos bien distribuidos para que coincidan con sus ubicaciones bien marcadas, como en la Fig. 6.21. Existen también procedimientos numéricos 2D equivalentes para solucionar este problema.

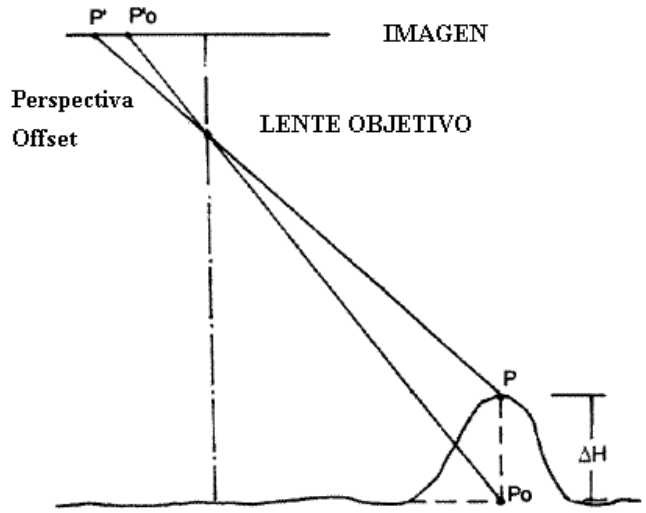


Fig. 6.22

Los límites para estos procesos se producen con la imagen de un punto con cierta diferencia en la elevación relativa al área que la rodea, la que experimenta un corrimiento perspectivo de la imagen (ver Fig. 6.22). Note que aparte de la diferencia en elevación H (*Delta H*), la distancia del punto elevado del eje vertical de la cámara aumenta el corrimiento, en otra palabras, los puntos cercanos al eje vertical de la cámara no muestran efectos de corrimiento importante.

Una manera alternativa de generar imágenes fotográficas libres de este efecto es combinar el proceso fotográfico con el tratamiento 3D, el producto es llamado orto fotografía.

La mejor manera de presentar imágenes de fotografía de terreno es con un orto fotomosaíco, que es un ensamblaje de imágenes formando un mosaico de escala uniforme. Lo siguiente en calidad es el mosaico rectificado ajustado como se mencionó; el método más grosero es ensamblar las imágenes fotográficas originarias y aceptar una escala aproximada como función de la altura de vuelo promedio.

El tipo de foto delineado debe ser siempre especificado para que se pueda tener cuidado con la validez del producto métrico.

3.1.2 Elementos de obtención de fotografías aéreas

La radiación solar extra terrestre tiene un rango máximo de alcance de ondas de 0.4 micrómetros a 0.8 micrómetros (1 micrómetro = 10^{-6}m) que está en la mitad de infrarrojo y azul (ver Tabla 6.4). La radiación cambia cuando pasa a través de la atmósfera, el reflejo del suelo también impacta el espectro de luz recibido por la cámara. Entonces, la película y la emulsión deben ser seleccionadas cuidadosamente.

Entre las películas blanco y negro (en escala o en tonalidades de gris) las emulsiones ortocromáticas son especialmente útiles entre 0.4 y 0.55 micrómetros, las pancromáticas entre 0.3 y 0.65 micrómetros, con un aumento adicional el los longitudes de ondas de 0.6 y 0.9 micrómetros. La más útil para la fotogrametría aérea es a emulsión pancromática. Existen varios tipos de películas de tres capas de color, pero estas son más útiles para la foto interpretación, descrita al final del punto 3.1.8, que para la fotogrametría.

Existe una serie de especificaciones relacionadas con la densidad, la velocidad, el poder de solución, granularidad y la estabilidad base que deben ser determinadas para lograr el mejor resultado en las condiciones prevalecientes para cumplir con las necesidades del producto final. El objetivo y los filtros a ser usados deben ser enfocados en el análisis.

El lente objetivo está compuesto de un sistema óptico donde una corrección de distorsión buena es particularmente requerida.

El formato de imagen comúnmente utilizado es de 23 cm X 23 cm con las distancias focales (f) (ver el punto 3.1.1.) detallado en la Tabla 6.5:

Tabla 6.5

Tipo de Cámara	**f (mm)**
Super Gran angular	85
Gran angular	153
Angulo Intermedio	210
Angulo Normal	305
Angulo Angosto	610

Las cámaras con distancia focal más corta (f) requieren de una mejor rectificación de distorsión mientras que las imágenes son también más afectadas por la refracción atmosférica. La Gran angular es el tipo de más comúnmente usado.

Para propósitos fotogramétricos, una cámara aérea debe tener una buena determinación de f, una corrección rigurosa de la distorsión u otra condición óptica y mecánica que pueden ser revisados con la calibración. La cámara es denominada una cámara métrica si estas condiciones se cumplen. Estas cámaras tienen un sistema preciso para asegurar la verticalidad del eje y para asegurar la llanura de la película. También tienen un control de tiempo apropiado y permite un control del solapamiento entre las fotografías consecutivas (superposición), etc.

Aunque las cámaras digitales generalmente permiten fotografías con imágenes de alta calidad, su desarrollo para el uso en la fotogrametría está avanzando rápidamente pero en el presente año (2004) sólo están disponibles las cámaras no métricas.

Un componente importante para la fotografía aérea es la plataforma aérea de levantamiento (avión fotógrafo). El criterio incluye el espacio apropiado para la cámara y sus anexos, que tienen la suficiente autonomia, que son capaces de operar en las alturas de vuelo requeridas y a las velocidades requeridas, que satisfacen los límites de vibración permitidos, etc.

Dentro de otros requerimientos debe tener un posicionamiento GNSS, frecuentemente con capacidad diferencial, con posibilidad de sincronizar el posicionamiento con la cámara y múltiples antenas para determinar la inclinación de la plataforma.

3.1.3 Planificación del vuelo

Inicialmente es necesario definir la escala de vuelo, promediar la escala de la cámara, que, como se dijo en el punto 3.1.2, tiene un formato de 23 cm X 23 cm. Si el tipo de cámara es definido, la escala determina también la altura de vuelo H= f/S (ver el punto 3.1.1. Fig. 6.20).

A pesar de que la escala se puede ampliar cinco veces para obtener productos fotogramétricos buenos para cumplir con los requerimientos hidrográficos, el análisis de precisión de la altimetría requerida debe ser conducido. Se debe notar que la desviación de la elevación obtenida por restitución alcanza los 200 ppmxH (200 partes por millón de altura de vuelo = H/5000). Algunas veces, esto puede hacerlo inalcanzable y los requerimientos de altimetría deben cumplirse por otros medios.

Habiendo definido la escala de vuelo, se deben estudiar las líneas de vuelo. En las situaciones más simples, la banda de costa puede cubrirse con un conjunto de franjas rectilíneas (ver Fig. 6.23).

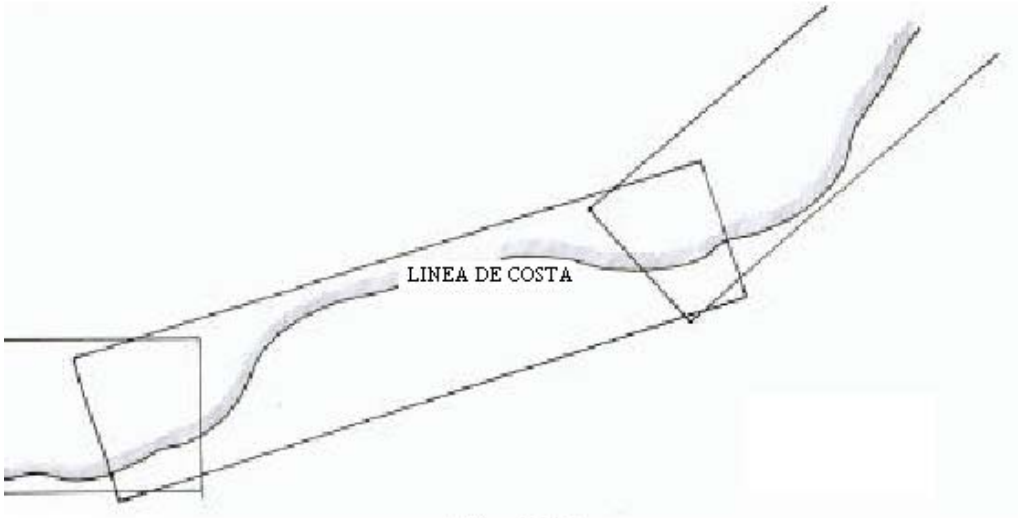


Fig. 6.23

Cuado los rasgos de costa son extensos, se requieren estudios más amplios. En este caso, bloques de varias líneas deben ser planificados (ver Fig. 6.24)

Adicionalmente los solapamientos de extremo o laterales deben ser planificados; generalmente, el solapamiento (o superposición) longitudinal es del 60% y el lateral es de 20%. Cuando se requieren las orto fotografías (ver figura 3.1.1.) o cuando los rasgos del terreno son demasiado desparejos puede ser posible que se produzcan huecos que dejan cierta parte del terreno sin estereoscopia, puede ser necesario aumentar el solapamiento.

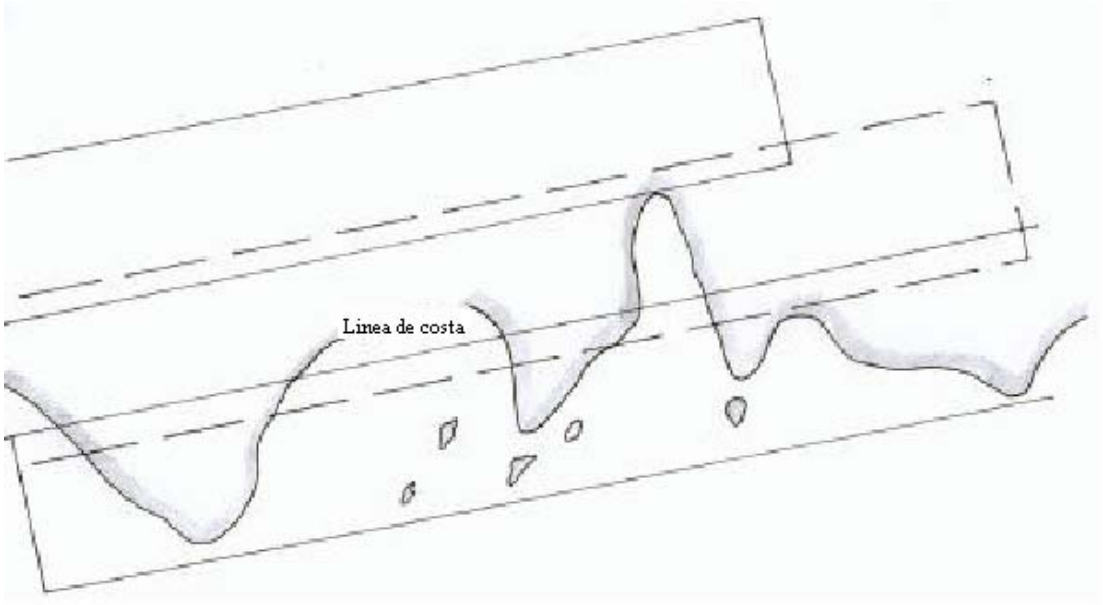


Fig. 6.24

La altitud y ángulo del sol durante el vuelo debe ser considerada, particularmente en latitudes más altas ($\varphi > 50^{o}$) en invierno.

Para asegurase que las sombras no interfieran o impacten la calidad de la imagen, el ángulo de altitud del sol debe ser mayor a 30º. A medida que el terreno sea más disparejo y desnivelado, mayor debe ser el ángulo de elevación. El tiempo de vuelo queda limitado por la época del año y la latitud.

Un límite adicional para los estudios hidrográficos es que los vuelos deben darse cerca de las aguas poco profundas para permitir la detección de rasgos o peligros cerca de la línea de costa en la zona inter-marea.

El cielo debe estar libre de nubes debajo de la altura de vuelo mientras muchas otras condiciones meteorológicas deben ser satisfechas durante la operación. Todas estas limitaciones se combinan para hacer los tiempos de vuelo más largos y la planificación más compleja.

El control del terreno y de su densificación por aerotriangulación debe ser considerado cuando se planifique el vuelo. Tal previsión resulta necesaria para contar con la oportunidad de efectuar tareas de campo (reconocimiento y apoyo) durante la presencia del grupo de levantamiento en el área.

La superposición produce cobertura como se detalla en la Fig. 6.25. Si el solapamiento es de 60% o más hay una zona de 20% o más de solapamiento triple.

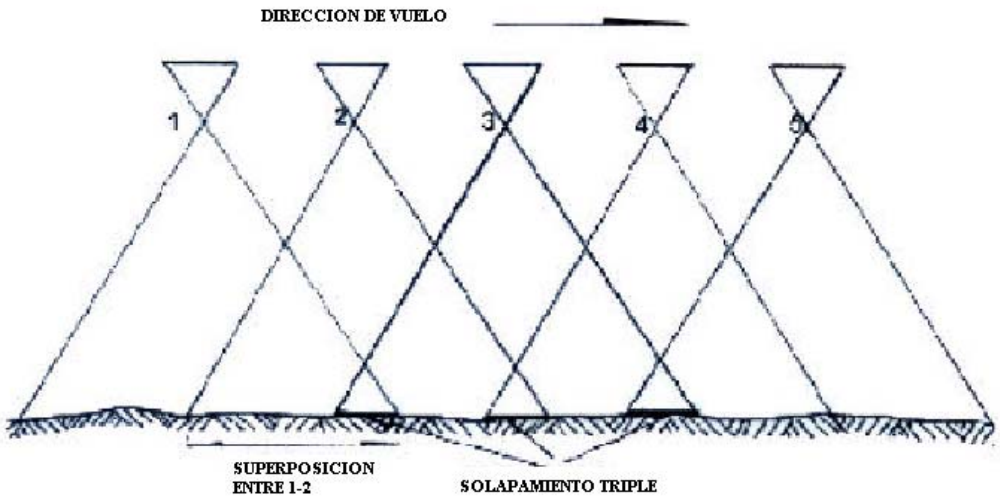


Fig. 6.25

En esta zona, como en el solapamiento lateral (ver fig. 6.24), la aerotriangulación se puede llevar a cabo.

3.1.4 Restitución

La técnica fotogramétrica de la restitución es el proceso básico en el tratamiento 3D de la información topográfica, generalmente se utilizan las imágenes aéreas. La restitución se lleva a cabo con la proyección de óptica, mecánica o digital de fotogramas contiguos en la zona de solapamiento, que permite la observación estereoscópica.

En cualquier versión es necesario determinar la orientación relativa y absoluta del modelo que copia la parte del terreno en estudio.

Un par de fotografías es orientado al intersectar cinco pares de rayos homólogos correspondientes a los cinco puntos del terreno. El proceso es logrado al eliminar las paralajes a través del movimiento de proyectores o mediante un proceso digital equivalente.

No se requiere un conocimiento previo de las coordenadas de los puntos seleccionados; sin embargo, es oportuno elegirlos de la zona final de superposición. (Ver la Fig. 6.26).

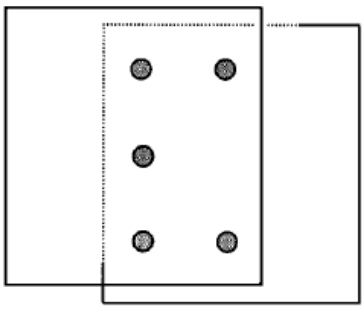


Fig. 6.26

Habiendo hecho esto, se crea un modelo 3D, aunque no se haya definido su posición en el marco de referencia ni su escala. En otras palabras, sólo una posición relativa de fotografías coincidentes con las cámaras durante el vuelo en una escala y en el marco de referencia desconocidos. Es posible observar estereoscópicamente el modelo entero mientras se sostienen las ubicaciones de las imágenes observadas.

Para asignar una escala a este modelo y para expresarlo en un marco de referencia compatible con el levantamiento, por los menos las posiciones 3D de dos puntos (por ejemplo 1 y 2 de la figura 6.27) y la altura de un tercero deben conocerse. Sin embargo, es mejor conocer las tres coordenadas de 1,2,3, y 4, que permiten cierta verificación.

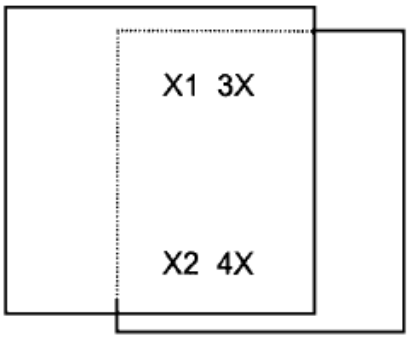


Fig. 6.27

Por supuesto, este ajuste puede ser hecho en una forma analógica, por medios ópticos o mecánicos o numéricamente por delineadores estéreo digitales o analíticos.

Con los modelos totalmente orientados, es posible obtener una representación topográfica del relieve y la descripción de los rasgos o infraestructuras. Las líneas de contorno pueden ser seguidas por medios analógicos o digitales. En el último caso, es posible hacer un Modelo de Terreno Digital (DTM) con la densidad conveniente de los puntos guardados.

Para obtener copias de la información, al momento la manera más simple es la de escanear fotografías aéreas con escáneres de alta resolución; sin embargo, en el futuro, estará disponible con la información tomada de las cámaras digitales como se mencionó al final del punto 3.1.1.

3.1.5 Aerotriangulación

Como se ha descrito en el punto 3.1.4, para la orientación absoluta del modelo estereoscópico es restitución, es necesario conocer los tres grupos de coordenadas de cuatro puntos distribuidas como en la figura 6.27, aunque en principio los tres grupos de coordenadas de 2 puntos y el vertical de un tercer punto pueden ser suficientes.

Para lograr dicho control, mientras se minimiza el trabajo de campo, un proceso interno ha sido desarrollado por la fotogrametría: la aerotriangulación.

El primer proceso de esta técnica consiste en dar control de terreno al primer modelo, determinando su orientación absoluta y luego, pasando al segundo modelo agregando una tercera imagen. Habiendo completado todos los movimientos en la tercera proyección de imagen, sin modificar lo anterior durante el proceso para la orientación relativa del segundo modelo, estará claro que la orientación total ha sido transferida.

Es posible repetir el proceso descrito anteriormente, sin embargo pueden aparecer deformaciones. Aparte de la desviación, los efectos de la curvatura terrestre y de la refracción de los rayos de luz deben ser considerados. Por esta razón es necesario ajustar la línea al agregar los puntos de control del terreno.



Fig. 6.28

Una franja con cuatro puntos de control de inicio, cuatro puntos de control de cierre y dos pares intermedios se muestra en la fig 6.28 (también ver la Fig. 6.23). Los pares intermedios deben estar presentes en seis modelos con el fin de solucionar satisfactoriamente las deformaciones y la propagación resultado de la desviación.

Los puntos de control y de amarre, para mantener la restitución, deben estar presentes en la zona de triple superposición y cuando sea necesario con el solapamiento lateral.

Aunque la distribución descrita corresponde a los procesos de aerotriangulación analógica, la experiencia hidrográfica muestra que frecuentemente que un apoyo de este tipo sigue siendo válido en el levantamiento costero (ver Fig. 6.23). Esto también es válido cuando una franja de ajuste es llevada a cabo con los modelos independientes usando los procesos analíticos. En este caso, el método normal, después de determinar cada orientación relativa, es de notar en cada coordenada de modelo y luego ajustarlas in términos numéricos.

Cuando hay varias franjas con solapamientos laterales (ver Fig. 6.24), el ajuste de bloque con modelos independientes puede ser completado con ciertas ventajas del grupo rígido emergente.

Los puntos sujetos a la aerotriangulación son:

a. Puntos de control de terreno
b. Puntos de amarre
c. Puntos adicionales para el control de restitución o puntos de detalle que requieren de cálculo específico.

Luego, manteniendo fijas las coordenadas de los puntos de control de terreno, teniendo en cuenta su relación con los puntos de amarre (o de paso)y su relación, se puede hacer un ajuste de bloque. Como resultado, las coordenadas de los puntos de paso y otros adicionales, se pueden obtener expresadas en el marco de referencia de los puntos de apoyo del terreno.

Existen siete parámetros para cada modelo de transformación en un proceso normal: Una escala, tres parámetros de translación y tres de orientación. Varias versiones de software están en el mercado; las básicas trabajan con los procesos planimétricos y altimétricos separadamente. Las más elaboradas están basadas en tratamientos 3D con un importante análisis estadístico que intentan limpiar la influencia de las desviaciones fuera de tolerancia. Con estos tipos de bloques, la cantidad requerida de puntos de control de terreno puede ser minimizada. Existe una utilización integral para ellas y un vínculo fuerte entre los modelos para enfatizar la rigidez del conjunto. Con 5+ 0.2 M de puntos de control de terreno, los resultados exitosos pueden lograrse, M es el número de modelos independientes que constituye el bloque.

Un bloque de modelos independientes bajo ajuste es mostrado en la Fig. 6.29. Se debe recordar que aparte del número de puntos de control de terreno, su distribución es importante para asegurar una red precisa y rígida para la restitución.

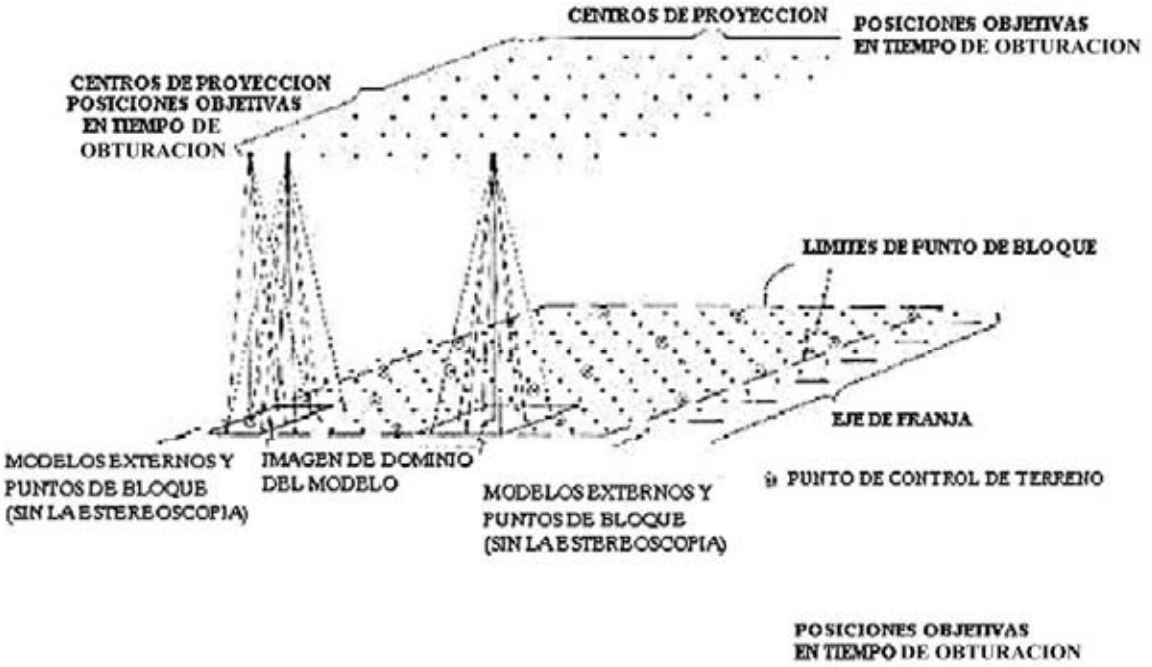


Fig. 6.29

Para simplificar, sólo unos pocos rayos de los centros de perspectiva de los puntos bajo aerotriangulación son mostrados, estos centros de perspectiva están asociados con la posición objetiva en los momentos de exposición. Los puntos de control de terreno, de los que algunos son coincidentes con los puntos de amarre, pero no en cada caso, están indicados también.

La Fig. 6.29 es también útil para mostrar el vínculo que se puede lograr a través de la intersección de rayos homólogos.

Si bien se escogió el ajuste a partir de la observación estereoscópica de modelos independientes, se podría haber encarado el proceso de haces de rayo, de los cuales se interceptan los rayos a partir de las mediciones de coordenadas en cada imagen, sin requerir necesariamente el proceso estereoscópico. Con este método, al menos nueve puntos del fotograma son medidos con frecuencia con una distribución como se muestra en la Fig. 6.30. La estabilidad de un bloque ajustado a través de esta técnica de ajuste de bloque compacto es más alta de la que se logra a través de franjas o modelos independientes. Ocasional mente, un primer ajuste es hecho con los modelos independientes, y luego, con estas coordenadas provisionales, el último ajuste es hecho con un grupo de rayos homologas.

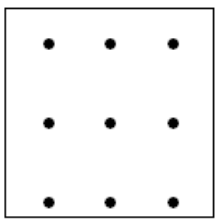


Fig. 6.30

En los ajustes en bloque, por modelos independientes o por grupo, aparte de las tres coordenadas para cada punto que se esté procesando, las coordenadas para los centros de perspectiva son creadas también.

Existen cámaras que pueden sincronizarse con los sistemas GNSS. Estas tienen la capacidad de recibir correcciones diferenciales; la posición de los centros puede ser introducida en el ajuste de bloque. Entonces, el número de puntos de control de terrenos puede ser reducido. Los sistemas con tres o más antenas están siendo desarrollados con el fin de extender la capacidad de calcular para la orientación.

Existen otros medios para aumentar la capacidad de la aerotriangulación y minimizar los trabajos de terreno; la obtención de imágenes a escalas menores está entre ellos. Tiene cierta validez para las coordenadas horizontales pero no es capaz, aún, para solucionar los requisitos de altimetría apropiadamente. Algunas franjas transversales a la misma o menor escala, son también utilizadas. Actualmente, todos estos procedimientos para las escalas fotogramétricas pequeñas (1:20000, 1:50000, 1:100000,…) son evitadas y remplazadas con la técnica descrita de posicionamiento GNSS con los centros de proyección con el mínimo control de terreno.

3.1.6 Apoyo (Control) de Terreno

Una de las principales tareas del campo de estudios topográficos es la creación de los puntos de control del terreno.

Aunque en el punto 3.1.5 se dan ciertas guías para la selección de puntos que permitan la aerotriangulación, es necesario considerar los requerimientos especificados de aquellos responsables de la restitución o de los procesos de aerotriangulación. El objetivo de la aerotriangulación es el control de la restitución descrita en el punto 3.1.4.

Teóricamente es posible la selección de puntos de apoyo antes del vuelo con su posicionamiento y señalización a ser fotográfida. Sin embargo, Sin embargo, el control es frecuentemente seleccionado luego del vuelo al posicionar los puntos identificados en las imágenes fotografiadas. Esta es una forma de evitar los problemas causados por la corta vida de las marcas artificiales.

Aparte de obtener los valores de las coordenadas de los puntos de control, sus delineaciones deben ser completadas. Una impresión inicial para esa información puede ser adquirida de copias de fotograma o en un mosaico fotográfico. Algunas veces el rasgo es picado en la imagen con los detalles escritos en el reverso. Sin embargo, esto no es siempre suficiente y es necesario agregar una descripción con los gráficos para clarificar los detalles escogidos y para fijar su posición y el nivel de referencia para la coordenada vertical. Esto es importante porque algunas veces el detalle apropiado para fijar la posición horizontal no tiene un nivel bien definido. Por ejemplo, la esquina de un edificio es un buen punto de referencia de una posición horizontal pero el nivel de terreno o ambos deben ser identificables para dar un buen control vertical.

En cada caso la descripción obtenida *insitu* debe ser compatible con la que puede ser obtenida por la información estereoscópica. Para hacer esto es útil tener copias estereoscópicas o de imagen exactas para analizar esta información o para observarla con el delineador estéreo para dar la descripción a ser utilizada en la aerotriangulación.

La precisión en la posición de los puntos de control de terreno debe ser estudiada cuidadosamente, tomando en cuenta los resultados de aerotriangulación deseados para controlar la restitución. Una desviación máxima de 100ppm (100 partes por millón) de la altura de vuelo (o sea H/10000) en las tres coordenadas puede ser aceptada. En los casos donde surjan dificultades, alternativas aceptables deben estar disponibles y analizadas.

Además de los problemas de las instrucciones para la distribución de los puntos de apoyo de terreno, de acuerdo a las necesidades de la compensación de la aerotriangulación, es importante clarificar que la provisión de los puntos de las coordenadas **x, y** y **z** alrededor del extremo exterior del bloque son más útiles; algunos puntos internos pueden ser limitados a la coordenada vertical **z** únicamente.

3.1.7 Generalidades sobre Restituidores. Procesado digital

Un esquema simplificado de un delineador estéreo es mostrado en la Fig. 6.3.1. Tiene dos soportes de fotograma (en la película y en formato digital) en el que las coordenadas **x', y'** y **x'', y''**se pueden leer. También tiene un equipo de observación (representado por dos oculares = eyepieces) que tiene dos caminos adentro (óptico, óptico/mecánico, electrónico) para permitir a cada ojo ver parcialmente cada imagen, haciendo al modelo estereoscópico disponible para mediciones. Los caminos tienen marcas flotantes con los que se forma un punto que puede ser visto en 3D cerca del modelo. Estas marcas pueden ser movidas en el modelo en la dirección del vuelo hacia el control X, transversal al vuelo con el control Y y vertical al control Z.

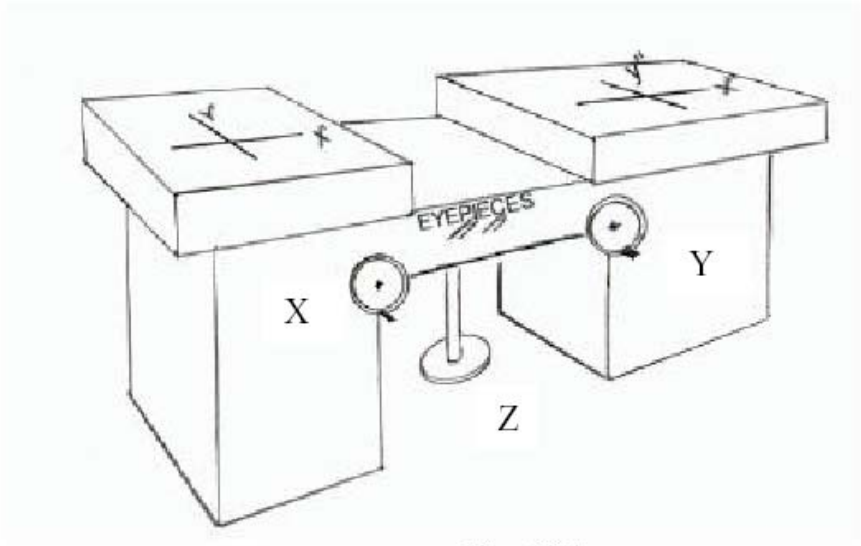


Fig. 6.31

Como se indica en la Fig. 6.31, los controles es **x** y **y** son operados con las manivelas y el **z** con el pedal.

A través de codificadores relacionados con los movimientos en **x, y**, y **z**, estas coordenadas pueden ser registradas. Un proceso de modelo de aerotriangulación independiente puede ser aplicado a ellos entonces. Para conducir el proceso a través de grupos de rayos, es necesario tener un instrumento con codificadores para registrar las coordenadas de fotogramas (**x', y', x''** y **y''**).

Aparte de la exactitud requerida para distinguir 100 ppm de la altura de vuelo (H/10000), un instrumento apropiado para la aerotriangulación debe tener todos los esenciales para registrar y codificar.

Naturalmente, todos los registros fijos, los elementos de codificación y otros relacionados con la orientación y el comportamiento interno del equipo debe ser conectado a un sistema de computación, particularmente en versiones analíticas y digitales (ver punto 3.1.4).

En las nuevas versiones digitales (Restituidores programados o de video) un monitor de computadora es utilizado para mostrar los datos requerida para llevar a cabo las observaciones detalladas anteriormente (ver Fig. 6.51). Ambos fotogramas son proyectados alternativamente en el monitor, el operador observa una con cada ojo a través de un equipo de observación especial (anagrama, lente polarizado u otra vía electro óptica), que crea una imagen estereoscópica y por lo tanto la habilidad de hacer las medidas requeridas. Otros periféricos están conectados como se indica en la figura 6.32. En un delineador estéreo digital, la imagen es dada por una cámara estéreo (CCD = Charge Compled Device = equipo de carga acoplado).

La figura 6.32 muestra un diagrama de flujo de datos en un sistema fotogramétrico digital estéreo.

En equipos de restitución electromecánicos el delineador dar la versión final del trabajo, adicionalmente el delineado era producido analógicamente sin la ayuda del proceso de las computadoras. En las versiones digitales la extracción de los datos consiste de archivos que contienen un formato preciso para la manipulación gráfica futura (copia en soporte digital), como un Sistema de Información Geográfica (GIS). En estos casos digitales, el uso de un delineador es un complemento que da una vista global del proceso de aerofotogrametría

El uso de archivos de copia en soporte digital es extremadamente conveniente para el procesado de los estudios hidrográficos. La información del proceso fotogramétrico puede sobreponerse, comparase y hacerse compatible con otros datos generados por los trabajos topográfico en el campo, de trabajos anteriores o batimetría cercana a la costa.

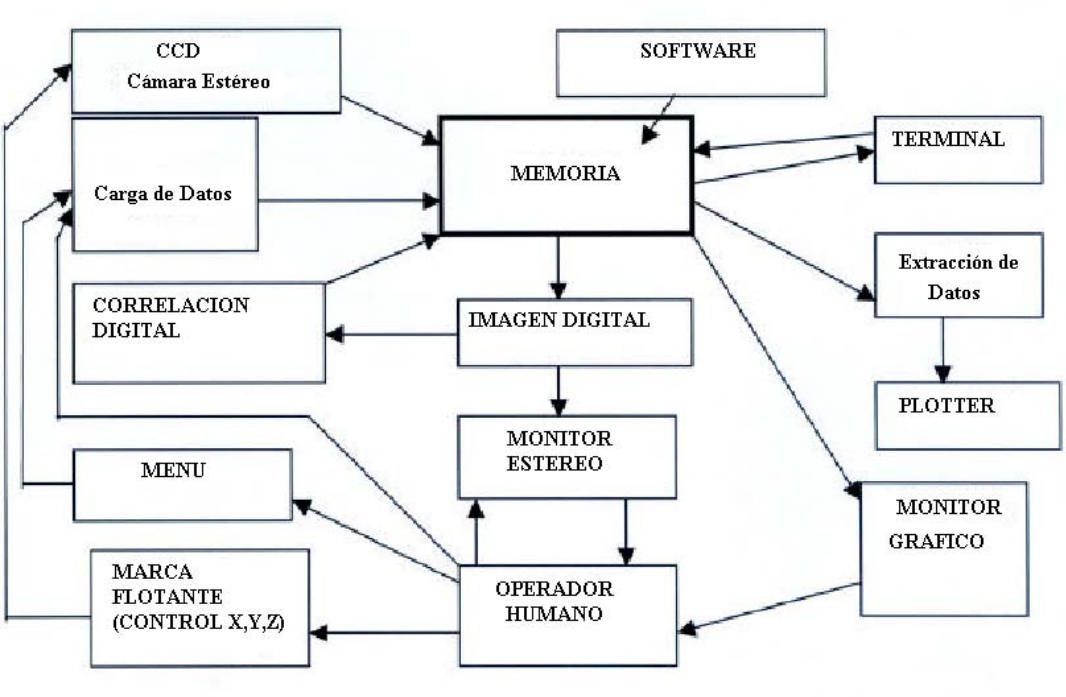


Fig. 6.32

3.1.8 Foto interpretación

La foto interpretación se relaciona con el examen de imágenes fotográficas, algunas veces apoyadas por la observación estereoscópica, que permite la identificación de objetos y rasgos, así como de ciertas propiedades de suelo, vegetación, etc., con el fin de obtener una descripción cualitativa de su carácter, uso o desempeño.

En muchos casos, la relación entre la altura de vuelo y los rasgos topográficos suaves no es suficiente para que el relieve sea visto con suficiente detalle para definir las líneas de drenaje, como se indica en la figura 6.19. Sin embargo, se puede lograr con un análisis minucioso y preciso de las fotografías aéreas, entonces, es posible detectar la existencia de los cursos temporales, separados por cuencas, cuyos rasgos son más claros que en la interpretación del relieve. Este es un ejemplo típico donde la foto interpretación puede lograr más descripciones precisas que la fotogrametría con una pequeña escala de imagen, aunque este procedimiento no debe ser extrapolado.

Generalmente, la interpretación de imágenes, siendo un caso particular la foto interpretación, puede ser hecha más exitosamente por los expertos en su campo en particular. Por ejemplo, un ingeniero de costas puede llegar a mejores conclusiones leyendo el comportamiento de una playa que un hidrógrafo, porque él puede analizar las refracciones de las olas y ciertos procesos de erosión.

En ciertos casos, se pueden trazar líneas de contorno muy detalladas ayudándose de imágenes obtenidas en diferentes períodos, no sólo sobre la línea de agua más alta y de la zona inter marea, sino por la existencia de la vegetación permanente o las líneas dejadas por las corrientes de marea antes de la resaca o los cambios de tonalidad de la imagen con la profundidad.

Una combinación precisa entre la calibración y la observación puede ser hecha con la comparación de algunas mediciones topográficas o batimétricas. Esto puede dar excelentes resultados. Sin embargo es necesario probar una estricta correlación entre las evidencias detectadas, por ejemplo, los cambios de tono y de las medidas. Si esto no es verificado, la base para la interpretación debe ser revisada. Algunas veces, el comportamiento de los fenómenos temáticos es interpretado incorrectamente por la presencia de zonas de banco.

La experiencia del interprete y la revisión de detalles dudosos en el campo permite que la foto interpretación sea un procedimiento muy útil como complemento de los levantamientos topográficos.

3.2 Tratamiento de Imágenes de sensores remotos no fotogramétricos

En esta sección sólo se considerarán los sistemas y métodos no- fotogramétricos. Como se dijo anteriormente, el término “Sensor Remoto” se aplica a la detección de objetos y a la determinación de su posición y a algunas propiedades sin hacer contacto físico con ellas. Aunque el término sensor remoto cubre todas las técnicas para hacer observaciones en la distancia, como aquellas basadas en acústica, gravedad y aero-magnetismo, en la actualidad, el sentido normal del término ha sido limitado al de la energía electromagnética.

Un sistema de teledetección genérico está compuesto de cuatro elementos básicos (Chuvieco, 1995)(Fig 6.33):

Sistema de Sensor: Sensor y plataforma (incluye el vehículo cohete que lo transporta hasta la órbita de operación definitiva)

Escena: Es el área del terreno cubierta dentro de un cierto tiempo por el sensor

Fuente de Energía: Es el Sol (para los sensores pasivos) o generados por el sensor (para los sensores activos).

Sistema de proceso, Venta, Intérprete y Usuario Final: abarca la estación de captura-recepción, antena, sistema de rastreo, ventas, agencia de distribución, interacción con el cliente y finalmente el usuario final. (Es decir, la agencia del gobierno, defensa, universidad, compañías de servicio domestico, etc.).

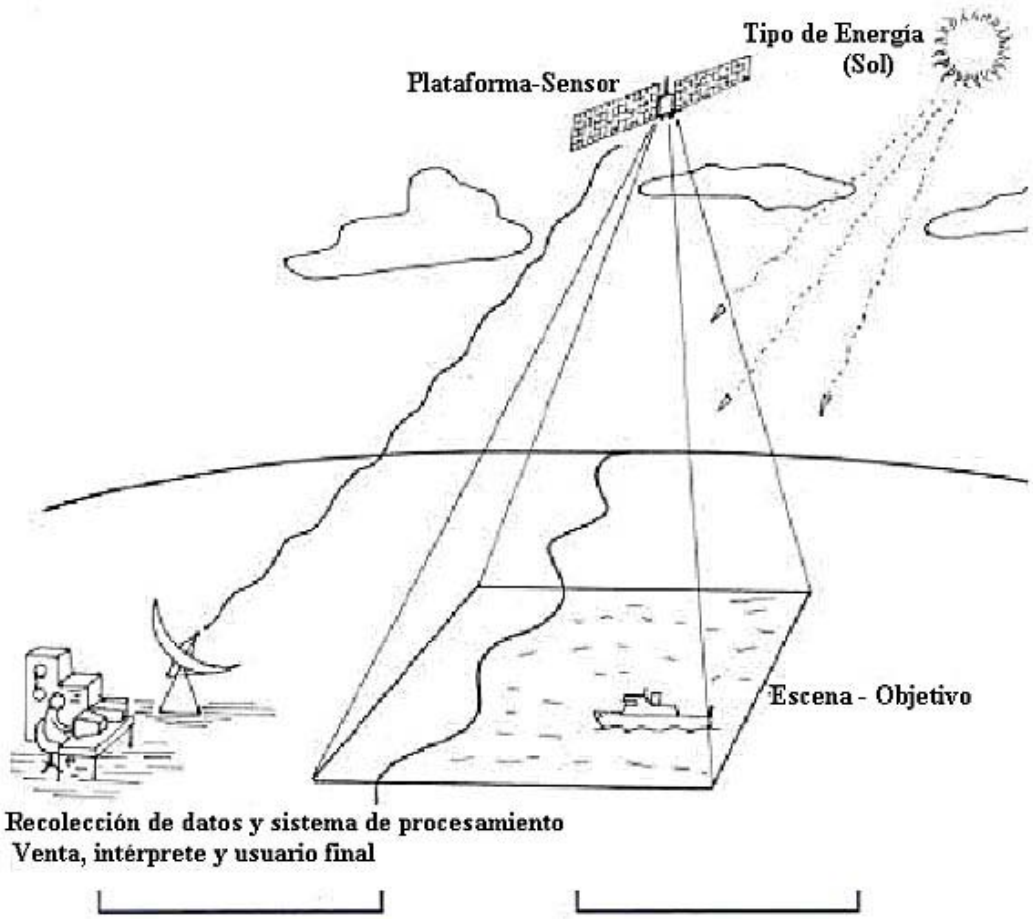


Fig. 6.33 "Sistema de teledetección (caso de sensor pasivo satelital)"

3.2.1 Satélite y sensores para el sensor remoto de los recursos de la tierra

Los satélites empleados el los sensores remotos de los recursos de la Tierra usan dos tipos de órbitas (Fig. 6.34):

a) **Órbita geoestacionaria ecuatorial:** El satélite está a alrededor de 36000 km de distancia y sobre un punto fijo en el Ecuador. Estos satélites solo miran a la superficie de la Tierra en una forma particular para una función exclusiva; como el satélite meteorológico Europeo METEOSAT, el americano GOES, etc.

b) **Órbita sol sincrónica casi polar:** El satélite utiliza órbitas mucho más bajas (de 700 a 1200 km) y pasa sobre el Ecuador a la misma hora local (helio sincrónico), trasladándose una cierta distancia a lo largo del Ecuador y pasando cerca de los polos. Como el SPOT, LANDSAT, NOAA, METEOR, JERS, ERS, RADARSAT, etc.

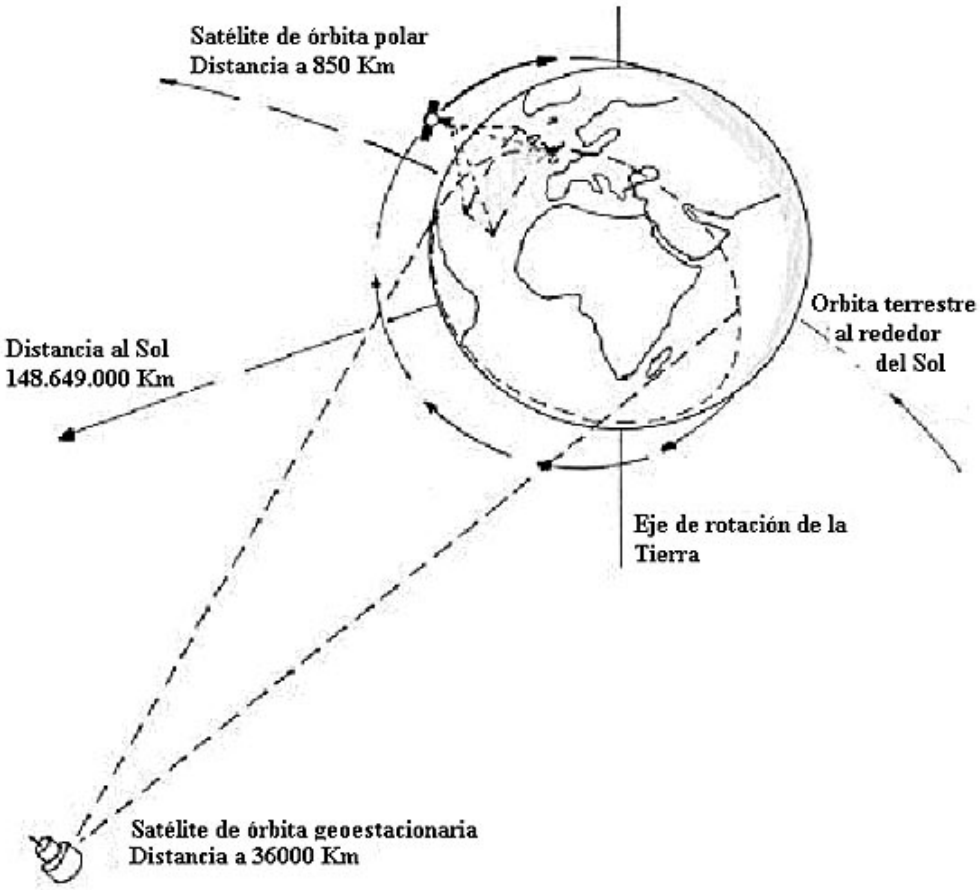


Fig. 6.34 "Principales órbitas satelitales"

Los **instrumentos sensores** pueden ser clasificados de acuerdo a la metodología del sistema:

a) De acuerdo a la **fuente de energía** utilizada, están divididos en (Fig. 6.35):

Pasivos: Los instrumentos capturan la energía radiante emitida desde el área de interés y generan la correspondiente señal eléctrica medible. La fuente de energía es el Sol. Ejemplos: MSS y TM LANDSAT, AVHRR NOAA, HRV SPOT, MMRS SAC-C.

Activos: Los sensores emiten un haz de energía y registran la proporción de ella retrodispersada desde la superficie terrestre. Son capaces de obtener imágenes bajo cualquier condición lumínica o meteorológica, ya que la fuente de energía es auto generada e independiente del Sol. Ejemplos: SAR ERS, JERS y RADARSAT.

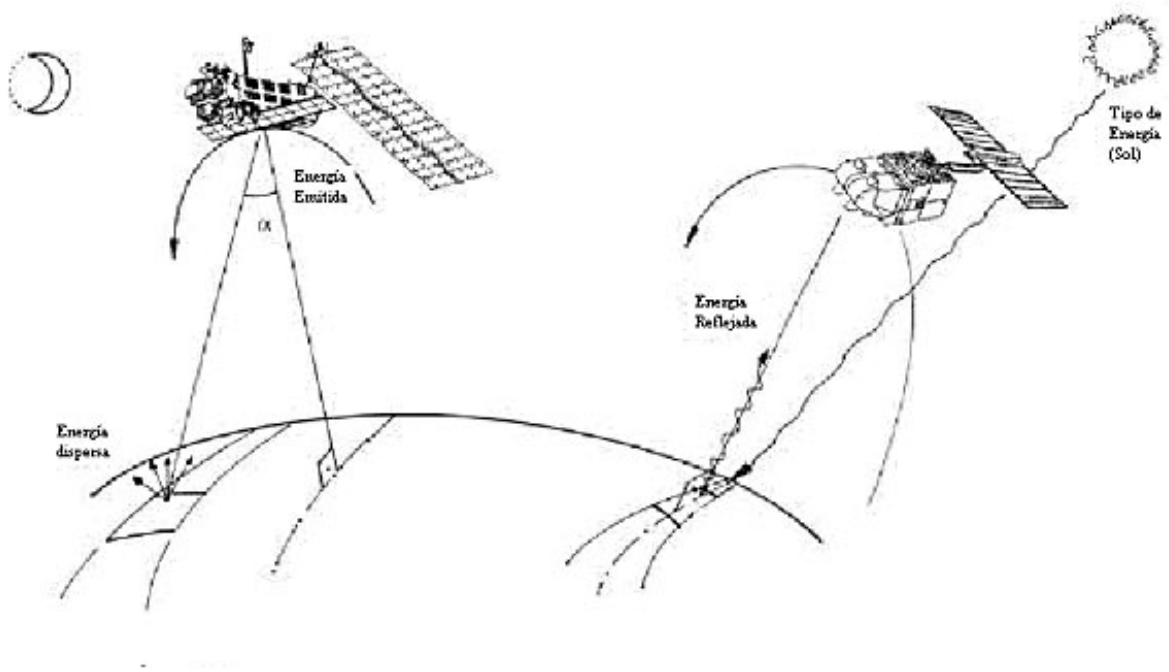


Fig. 6.35 "Sensores Activos y Pasivos"

b) Las secciones útiles del **espectro electromagnético:**

Óptico: éste incluye el espectro visible del ojo humano (0.4 μm – 0.7 μm) y el infrarrojo cercano o reflejado (0.7 μm – 3 μm).
Ejemplos: MSS LANDSAT, HRV SPOT, MMRS SAC-C.

Térmico: corresponde al infra rojo emitido o térmico (7 μm – 15 μm). Ejemplos: AVHRR NOAA, TM LANDSAT.

Micro ondas: Las ondas más largas (mm a cm) utilizadas principalmente por los radares.
Ejemplos**:** SAR ERS; JERS y RADASAT

Fuentes de radiación electromagnética que pueden ser utilizados por el sensor remoto pueden ser natural como el sol, la tierra y la atmósfera o tipos artificiales como los emisores de lámparas de destellos, láser o micro ondas

La principal fuente de energía natural es el sol, cuya energía alcanza un máximo (pico) en una longitud de ondas de 0.47 μm (verde visible). En su camino a la Tierra, la energía solar pasa a través de la capa atmosférica y sobre pasa interacciones complejas, resumidas en los efectos de absorción, reflexión, dispersión y emisión (Fig. 6.36):

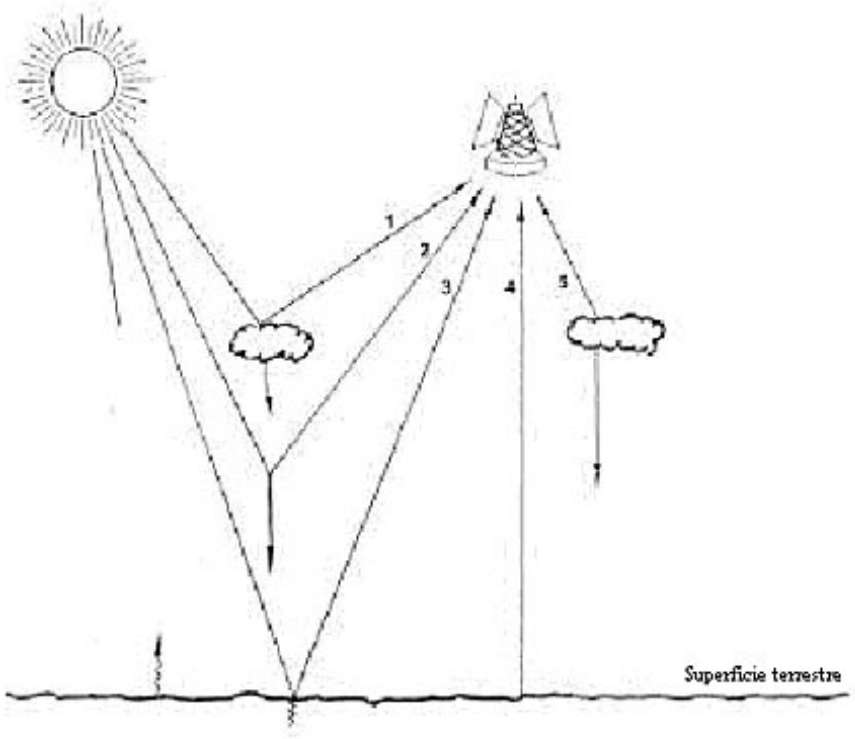


Fig. 6.36 "Radiación recibida por los sensores"

Los diferentes componentes son:

1. Radiación reflejada por la atmósfera;
2. Radiación dispersada por la atmósfera;
3. Radiación reflejada por la superficie terrestre;
4. Radiación emitida por la superficie terrestre;
5. Radiación emitida por la atmósfera.

Sólo una pequeña parte de la energía capturada por el sensor es utilizada para extraer información en relación a los recursos de la Tierra: la reflejada y/o emitida por la superficie terrestre. El resto debe ser filtrado para permitir extraer información adicional.

Existen zonas del espectro, que tienen mejor pasaje de la energía electromagnética; estas son llamadas "ventanas atmosféricas" (Fig. 6.37). En estas zonas la absorción es más baja, entonces la energía transmitida es más alta. Las principales ventanas son:

0.4 – 0.7 μm en el visible;
3.5 – 5.5 μm y 8 – 14 μm en el térmico IR

El sensor captura y mide la energía electromagnética que viene del área de interés en bandas de espectro discretas. La medición de la intensidad de la energía transmitida de un objetivo en cada banda es llamada respuesta espectral o la "firma espectral" de este objetivo.

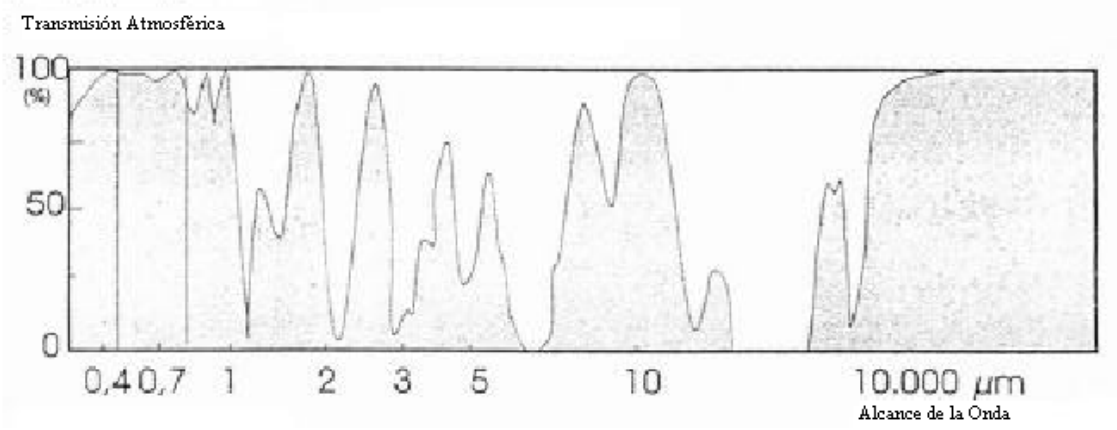


Fig. 6.37 "Ventanas atmosféricas"

3.2.2 Principales sistemas de percepción remota

Los principales sistemas de teledetección pueden clasificarse como sigue:

SENSORES PASIVOS

- Sistemas fotográficos
- Sistemas Vidicon de Haz de Retorno
- Escáner Opto mecánico
- Escáner Opto electrónico

SENSORES ACTIVOS

- Sistemas de radar

- **Sistemas fotográficos**

Las cámaras fotográficas fueron los primeros sensores capaces de recibir fotos multi espectrales del espacio. Continúan siendo un método utilizado con frecuencia por los sensores remotos, particularmente por las plataformas aéreas. Su base de operación es la impresión de una escena en las películas foto sensitivas a través de un sistema óptico que permite el control de las condiciones de exposición.

Las características más importantes son:

a. **Tipo de película:** la película más comúnmente utilizada es la pancromática, en la que todo el espectro visible puede ser capturado en una sola emulsión. La radiación correspondiente al infrarrojo cercano o reflejado (IR) es capturada en tonos de grises con la película infrarroja.

b. **Número de objetivos:** Se pueden hacer múltiples observaciones con dos diferentes construcciones, incorporando varios lentes, cada uno con un filtro apropiado, en una cámara, que permita impresiones de la misma imagen en varias bandas del espectro, o al ensamblar varias cámaras en la misma plataforma, cada una con diferentes filtros y películas apropiadas (ver Fig. 6.38)

c. **Angulo de vista:** En la fotografía vertical (la más frecuentemente utilizada), las imágenes son capturadas aproximadamente ortogonales a la superficie terrestre (5º de desviación es lo permitido) y en la fotografía oblicua, un ángulo de vista de 90º (utilizado en estudios de relieve, infraestructura urbana, etc).

d. **Altura de Observación** La altura (**H**) es altamente variable, dependiendo si es aérea o espacial y la relación con la distancia focal (**f**) determina la escala (**S**) del fotograma obtenido (ver 3.1.1).

$$S = f / H$$

Se puede citar un ejemplo de fotografía espacial en las fotos pancromáticas e IR tomadas desde el Taxi Espacial durante el Programa de Laboratorio Espacial Europeo (1983). De hecho, con la cámara métrica RMK 20/30 algunas fotos estereoscópicas fueron obtenidas de varias regiones del mundo, en una escala de 1:820.000 a una altura de 250 Km con una resolución aproximada de 20 a 30 m, estas fueron utilizadas principalmente para propósitos cartográficos. (Konecny, 1986).

Más recientemente, cámaras como la MKF-6 (Fig. 6.38), a bordo del laboratorio espacial Soyuz, han permitido capturar fotos de alta resolución y en 6 bandas del espectro IR visible y cercano (Chuvieco, 1995). También a bordo del Soyuz, las cámaras como la KFA 1000, con distancia focal de 1 m aproximadamente y a 351 km de distancia, logró resoluciones geométricas desde 5 a 10m.

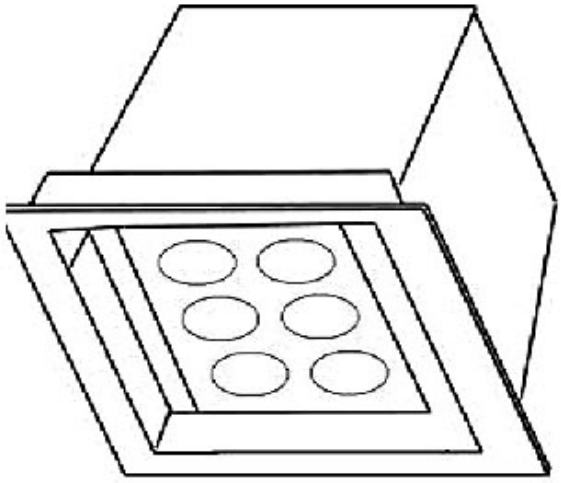


Fig. 6.38 "Cámara multi espectral MKF-6"

- **Sistemas Vidicon de haz de Retorno**

EL Haz de Retorno vidicon (RBV) fue un sensor pasivo similar a un tubo de cámara de televisión. Este sensor fracaso a comienzos de los primeros ERTS (llamados LANDSAT después) y nunca fue de uso rutinario.

Dos cámaras RBV observaron la superficie por completo de forma instantánea, utilizando filtros de color para dar a las bandas multiespectrales centradas en el espectro azul-verde, amarillo-rojo y rojo-IR en los dos primeros satélites LANDSAT.

Una cuarta cámara RBV en Landsat-3 era una versión pancromática (0,505-0,75 μm) que proveía cuatro imágenes conexas a una resolución de 30 m.

Este tipo de sistema ha sido utilizado en los satélites TIROS y LANDSAT, entre otros.

- **Sistemas de barrido óptico-mecánicos**

Estos tipos de barredores son instrumentos óptico-mecánicos, donde un elemento óptico manejado mecánicamente, generalmente un espejo rotante o oscilante, es utilizado para desviar un haz óptico a los detectores de ángulos rectos a la línea de vuelo. El eje de rotación o de oscilación del espejo es paralelo a la línea de vuelo u órbita.

Como ejemplos, el barredor aerotransportado Daedalus usa un sistema rotatorio y la serie de satélites LANDSAT utiliza un sistema oscilante en su Barredor Multi Espectral (MSS) (Fig. 6.39).

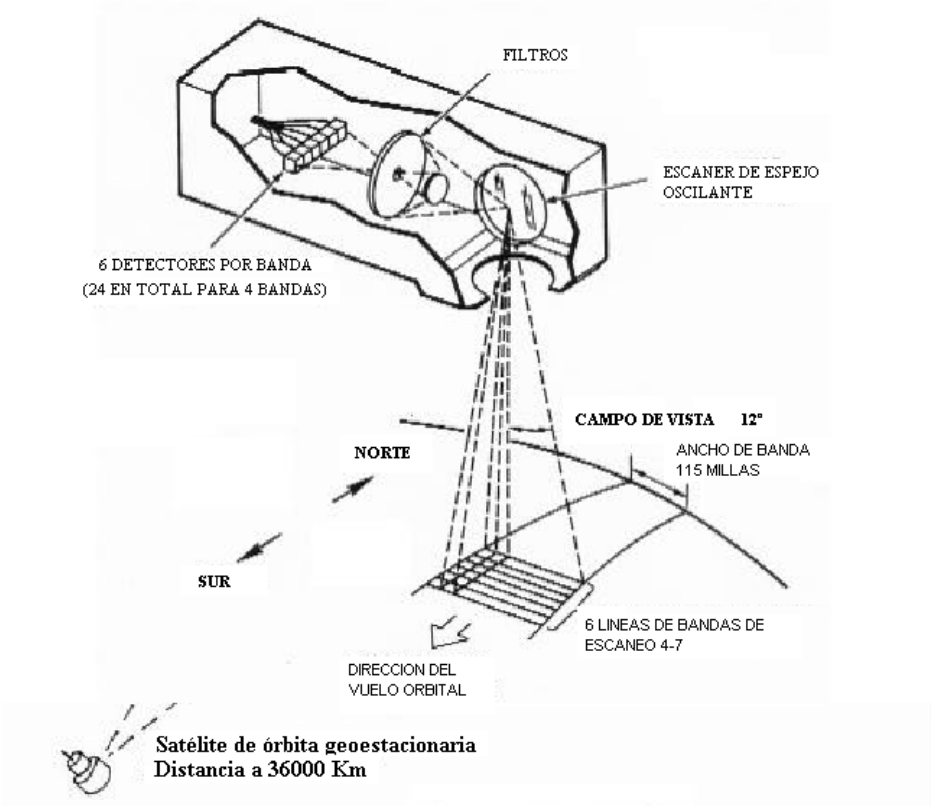


Fig. 6.39 "LANDSAT MSS (NASA, 1997)"

El MSS LANDSAT consta de un espejo móvil que oscila perpendicularmente a la dirección de vuelo. La radiación recibida pasa a un conjunto de detectores que lo amplifican y lo convierten en una señal eléctrica. Esta señal se convierte en un valor numérico, que puede ser guardado a bordo o transmitido a las antenas de la red de recepción terrestre.

En resumen, el sensor transforma una señal analógica, la radiación recibida, a un valor digital, generando imágenes digitales. Estos valores de radiación pueden ser transformados, a su vez, en niveles de radiación, conociendo los coeficientes de calibración del sensor y las condiciones de adquisición.

El número y los atributos de los detectores, que contienen el equipo de barrido, son fundamentales para comprender las características de la imagen resultante.

La señal enviada por el sistema óptico a estos detectores es re-muestreada con intervalos regulares, para que sólo un valor numérico sea grabado a cada cierta distancia. Ese intervalo marca el tamaño de la mínima unidad de información adquirible por el sensor; es denominado “pixel” (elemento de imagen). La señal detectada por cada pixel tiene una relación directa con el tipo de superficie observada. Si la señal se origina a partir de una superficie homogénea, el valor del pixel la definirá correctamente; en el caso de una superficie heterogénea, el resultado será un promedio de las características del área observada.

En muchos equipos de exploración por barrido, la señal recibida se descompone a bordo en varias longitudes de onda, enviándose cada una de las cuales a un tipo especial de detectores, sensibles a este tipo de energía. Estos son conocidos como exploradores de barrido Multiespectral, pues detectan la misma superficie del terreno en distintas bandas del espectro.

Las ventajas de los equipos de barrido multiespectral en relación con los simples sensores fotográficos son (Chuvieco, 1995):

a. Permiten ampliar la banda del espectro detectada a longitudes de onda mayores del visible. Las emulsiones están limitadas al rango de 0.4 a 0,9 μm, mientras que los equipos de barrido pueden abarcar de 0,4 a 12,6 μm, incluyendo el infrarrojo medio y el térmico.

b. Más fácil calibración y corrección radio métrica de datos;

c. Habilidad de tener cobertura sistemática y extensiva gracias a su capacidad de transmitir los datos en tiempo real.

d. Grabación digital de la información, que mejora su confiabilidad y permite el procesado computarizado.

Las desventajas son su menor resolución espacial y la exigencia de contar con equipos específicos de tratamiento de imágenes.

Ejemplos de estos sistemas son el AVHRR (Radiómetro Avanzado de muy Alta Resolución) en los satélites TIROS-NOAA y el Escáner Multi- Espectral (MSS) LANDSAT.

Un sensor multiespectral mas sofisticado, denominado Thematic Mapper (TM), se agregó en los satélites Landsat 4 al 7. Aunque similar en su modo operacional al MSS, el TM se compone de siete bandas que tienen características diferenciales, adicionando capacidades batimétricas, geológicas y térmicas con mejorada resolución geométrica.

- **Sistemas de barredores óptico-eléctrónicos**

En los barredores óptico-electrónicos, también denominados por empuje (pushbroom), se elimina el espejo oscilante, gracias a disponer de una cadena de detectores que cubre todo el campo de visión del sensor. Estos detectores se van excitando con el movimiento orbital del satélite, explorando en cada momento, una línea completa, desplazándose ésta simultáneamente con la plataforma. Los detectores sólidos que forman un barredor óptico-electrónico se denominan dispositivos de acoplamiento por carga (Charge Couple Devices CCD) (Fig. 6.40).

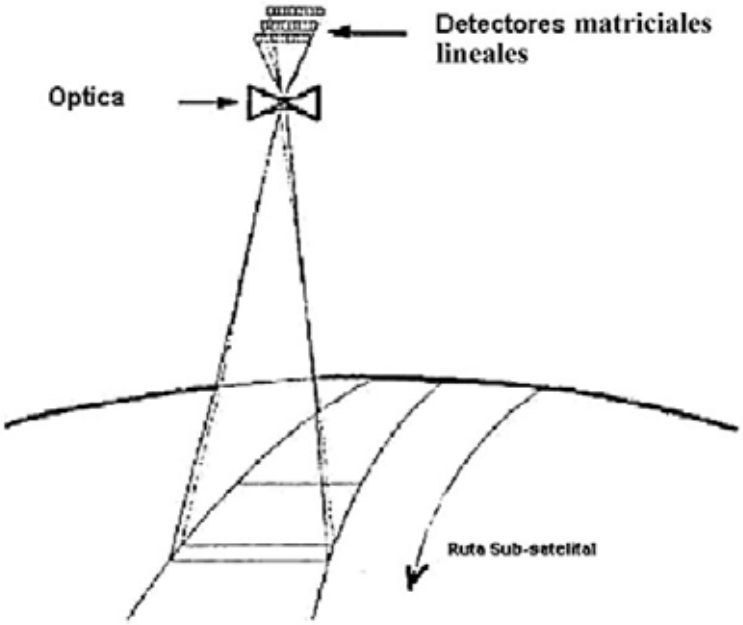


Fig. 6.40 "Sistema CCD (Chuvieco, 1995)"

Con este tipo de sensor se aumenta la resolución espacial del sistema respecto a los barredores convencionales, al eliminar la parte móvil. Además no se requiere que los sensores sean interrogados una vez por pixel, sino sólo una vez por línea, lo que agiliza la detección y emisión de datos.

Ejemplos de este sistema son el Alta Resolución Visible (High Resolution Visible HRV) del satélite francés SPOT, el alemán MOMS y los sensores del indio IRS-1 y del japonés MOS-1.

- **Sistemas RADAR**

El RADAR (**RA**dio **D**etection **A**nd **R**anging) permite obtener información sobre la topografía, rugosidad, cobertura y humedad de la escena, usando un radiómetro de microondas activo, que trabaja en un rango espectral entre 0,1 cm y 1 m. Debido a su flexibilidad al poder trabajar en cualquier condición atmosférica y lumínica es cada vez más utilizado. Existen diferencias importantes entre cómo se forma una imagen radar y que se representa en esa imagen, comparada con imágenes provistas por sensores remotos ópticos, la energía asociada al sensor remoto del radar, la forma en que la energía interactúa con los objetivos de la superficie y la forma en que esta interacción es representada en la imagen (Davidson, 1997).

El principio de operación del radar está basado en la emisión de un pulso (haz) de micro ondas (radio) hacia la escena o el objetivo. La energía incidente es dispersada por la escena hacia el radar, que mide la intensidad (detección) y el tiempo pasado entre la emisión y la recepción (rango) (Fig. 6.41).

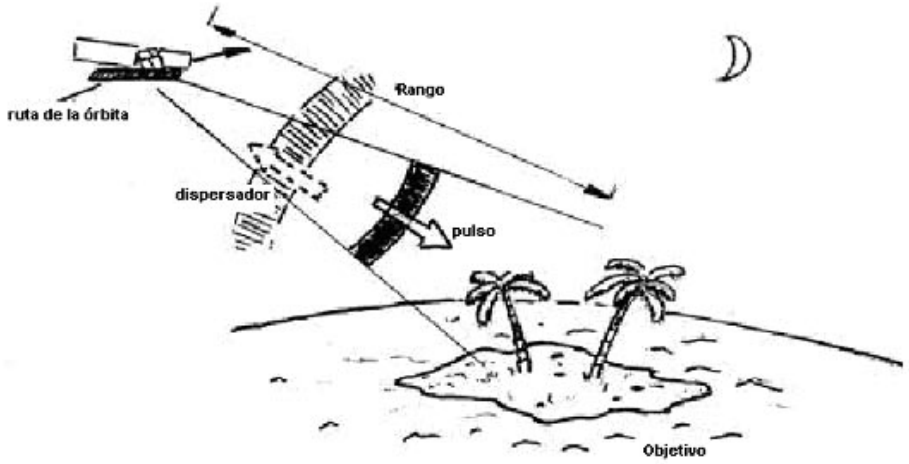


Fig. 6.41 "Operación básica del RADAR"

El **radar de abertura sintética (SAR, Synthetic Aperture Radar)** es el tipo de radar más utilizado en satélites. Su principio se basa en el efecto Doppler, que afecta la observación realizada cuando existe un movimiento relativo entre objeto y sensor, registrándose los pulsos de un mismo objeto de la superficie terrestre en momentos sucesivos de su trayectoria. La resolución resultante es equivalente a la que se obtendría con una antena de similar longitud a la distancia existente entre los puntos extremos, desde los cuales alcanza un mismo objeto. (Fig. 6.42).

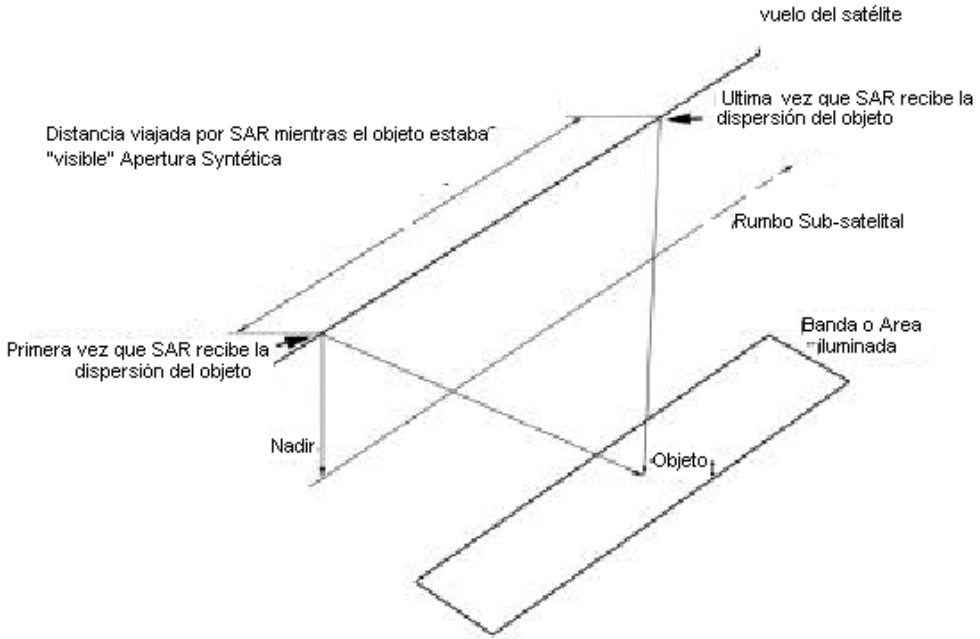


Fig. 6.42 "Concepto de Radar de Apertura Sintética"

Ejemplos de sistemas SAR de recursos naturales son los europeos ERS y ENVISAT, el RADARSAT canadiense, y el JERS japonés.

3.2.3 Estructura de Imagen y Soporte

Una imagen se forma a partir de la energía captada por el sensor, quien la convierte a una señal analógica. Luego es procesada y almacenada como un valor numérico. El intervalo regular de grabado de la señal determina la unidad de información que tiene la imagen. A esta mínima porción de datos, representada por un solo valor digital, se la denomina "pixel" (elemento de imagen), y depende, como se vio anteriormente, de la resolución geométrica del sensor empleado. El pixel está caracterizado por un número digital (DN), que resulta de la codificación digital de la radiancia detectada para ese rango del espectro o banda.

La imagen numérica es un arreglo geométrico (matriz) de dos dimensiones. En cada pixel **Pij** (punto elemental de la matriz) se asocian tres valores:

a. su coordenada en línea **Li**;
b. u coordenada en columna **Cj;**
c. la medida física realizada por el receptor en ese pixel en un rango dado de longitudes de onda: DNij.

Una imagen multiespectral está constituida por k matrices, llamadas canales o bandas. En este caso, la imagen se vuelve un arreglo tridimensional, incorporando la banda como tercera dimensión. Por ejemplo una imagen multiespectral MSS LANDSAT posee cuatro canales MSS_k , donde k = 1, 2, 3. 4. Las intensidades radiométricas de un canal son recuentos numéricos con valores cuyos límites 0 y 255, permitiendo en general hasta 256 valores posibles. Estos valores están codificados en octetos (bytes) u 8 bits.

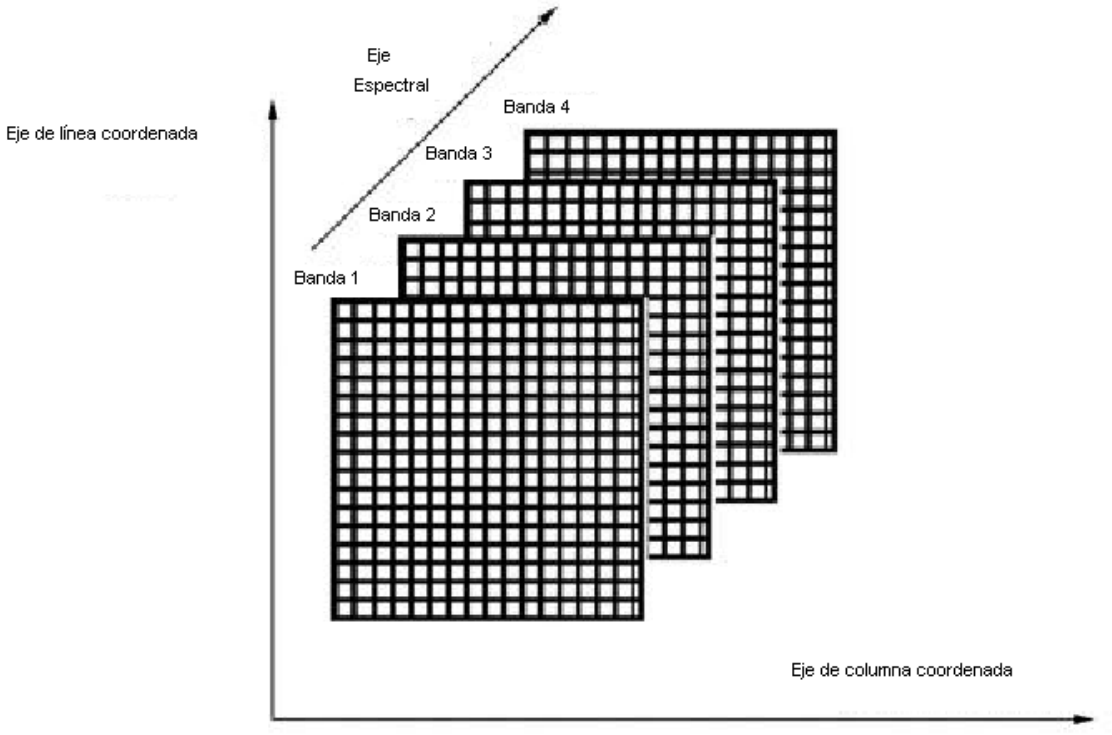


Fig 6.43 "Estructura matricial de la imagen multiespectral"

El principio fundamental de la visualización de una imagen digital es el de asociar el color o tono de gris a cada valor radiométrico, conservando al mismo tiempo la representación de matriz de la imagen. Existen dos posibilidades de visualización: la visualización de un solo canal y la visualización de varios canales en síntesis de colores sumatorias.

En el caso de la visualización en un único canal, se define una correspondencia entre la intensidad (DN) y el tono de gris, de modo que se le asigna la intensidad mínima (0) al negro y la intensidad máxima (255) al blanco, asignando diferentes tonos de gris a los valores intermedios. El histograma de una imagen numérica es una representación gráfica de la frecuencia de aparición de los distintos niveles de intensidad radiométrica. El histograma nos permite conocer la distribución de pixeles en la imagen para el intervalo de valores entre 0 y 255.

Para mejorar una imagen digital es posible modificar ka correlación entre los valores numéricos y el rango de gris o de color. El objetivo es aumentar el contraste global de la imagen. Esto se realiza reemplazando los valores originales, entre los valores mínimos y máximos, con los nuevos valores distribuidos dentro de 255 niveles, como una forma de utilizar todos los niveles de gris disponibles en la visualización. Esto puede lograrse aplicando una función lineal (línea recta), adaptando la imagen de acuerdo a la curva del histograma acumulado o por otros métodos viables de distribución, los más comunes usando exponenciales, segmentos lineales, etc.

Para la visualización en colores, el principio es el mismo que para la visualización en blanco y negro (BW). La única diferencia es que se asocia un color, y no una intensidad de gris, a cada valor numérico del canal. Así debe definirse una apropiada paleta de colores.

Existen convenciones para la combinación del canal de color. Por ejemplo, el MSS LANDSAT normalizado la imagen Compuesta de Color Falso (FCC) asigna el color azula a la banda verde (centrada a 0.55 μm), el verde a la banda de rojo visible (0.65μm) y el rojo a la banda IR cercana (0.75 μm).

Existen alternativas para el **formato de grabado de imagen.** En general, la imagen contiene un archivo “encabezado” que indica el formato de grabación, el tipo de sensor, la ubicación geográfica del área, la fecha, la posición solar, las correcciones de los datos y la calibración de la imagen. Los formatos de grabado más frecuentes son:

BSQ (Bandas secuenciales): el número digital (DN) sigue un orden secuencial, a partir del origen (línea 1, columna 1) hasta el pixel final de la primera banda; luego continúan las siguientes bandas.

BIL (Bandas intercaladas por líneas): los DN están ordenados por líneas. Comienza la primera línea de la banda uno, luego la primera línea de la segunda banda y así continua con las siguientes bandas. Una vez que todas las bandas están completas, pasa a la segunda línea de la primera banda, la segunda línea de la segunda banda, etc.

BIP (Bandas intercaladas por píxel) El formato es similar al método anterior, excepto que en este caso el DN está ordenado por píxel. El primer píxel es grabado en el origen de cada banda, luego el segundo píxel, y continúa así hasta completar la imagen.

El **soporte de imagen disponible**, film negativo o positivo o papel fotográfico, varía de acuerdo al programa espacial. La película negativa es el producto más versátil, ya que éste permite la generación de todas las amplificaciones consideradas necesarias en la escala deseada. La película positiva es muy útil para la reproducción fotográfica y para las impresiones de la imagen. El papel es el medio análogo más comúnmente utilizado ya que garantiza la habilidad de interpretar directamente las imágenes de alta calidad; sin embargo la escala en la que está presentado es rígida. La imagen de películas en negativo LANDSAT TM de (23x23 cm) son ofrecidas a una escala de 1:500.000, mientras que otros programas ofrecen imágenes a una escala de 1:1.000.000, adicionalmente las amplificaciones pueden ser obtenidas en papel a escalas de 1:250.000 y de 1:100.000.

Actualmente las Cintas magnéticas Compatibles a Computadoras (CCT), las cintas Exabyte y los Discos Compactos de Memoria de Solo Lectura (CD-ROM) son los tipos de medio digital más útiles.

3.2.4 Fundamentos de interpretación y procesado

La interpretación de la imagen se refiere a las técnicas requeridas para definir, reconocer e identificar objetos o fenómenos en una imagen y de interpretar su significado. Para conducir estas tareas, se debe considerar una parte esencial del trabajo de preparación para definir los parámetros y los métodos a ser utilizados.

La escala es una de los primeros parámetros a ser definida y está unida a los objetivos mencionados anteriormente; la escala define la unidad mínima de información que debe ser incluida en el mapa, llamada la Unidad Cartográfica Mínima (MCU). Es recomendado que el MCU no sea menor a 4 mm² a una escala del mapa. Entonces, la escala de trabajo debe estar relacionada directamente con el más apropiado tipo de sensor para hacer el proyecto. De acuerdo a las recomendaciones de la Asociación Cartográfica Internacional, los límites de escala más apropiados para los diferentes sensores son:

LANDSAT – MSS	**1 : 200.000**
LANDSAT – TM	**1 : 100.000**
SPOT – HRV	**1 : 50.000**

Para resumir los factores de interpretación de imagen, lo siguiente debe ser considerado:

- **Sistema de Plataforma- Sensor:** El tipo de sensor más apropiado depende de los objetivos y del nivel de precisión requerido para el proyecto; o sea el mapa global (planisferios) serán llevados a cabo con sensores de baja resolución espacial (NOAA AVHRR o SAC-C MMRS) mientras que aquellos que requieren una escala mayor usarán sensores que ofrecen un mayor detalle espacial (Landsat TM o SPOT HRV). Sin embargo, en otros casos la resolución espacial es secundaria a la resolución temporal o espectral; si el fenómeno en estudio es muy dinámico en tiempo, como la detección de derrames de petróleo en el mar, será apropiado usar sensores de resolución temporal más alta, mientras que se sacrifica la precisión espacial. En otros proyectos la dimensión espectral será más importante, como en los estudios de color del océano a partir de sensores ópticos.

- **Fecha de captura de la imagen:** El momento más apropiado para adquirir las imágenes será cuando el fenómeno a ser estudiado tenga su discriminación más alta sobre otros de comportamiento espectral similar; como el mapa de la zona de la línea de ribera con gran amplitud de marea y playas extendidas, entonces la captura de la imagen debe ser planificada con un análisis de las predicciones de la marea local.

- **Soporte de imagen:** La selección de los medios, en los cuales se realiza la interpretación, depende de las técnicas a emplear. Si es mediante análisis visual, tres principales aspectos deben ser considerados: el material de soporte de la imagen, la escala y el número de banda o la combinación de bandas seleccionada.

La película fotográfica o el papel es ideal para la interpretación analógica (visual), mientras que el Exabyte, los discos floppy, el CCT o el CD-ROM son los mejores para el proceso digital. Adicionalmente, el número ideal de bandas para un proyecto depende del fenómeno monitoreado o delineado.

- **Selección del método de análisis:** Los métodos de análisis de imagen pueden ser visuales o digitales. Cada uno tiene sus propias ventajas y desventajas. El tratamiento visual requiere de una menor inversión que con el proceso digital; sin embargo, los procesos de computadoras presenta costos unitarios más bajos con las áreas grandes, mientras que la interpretación visual sigue los costos lineales.

En resumen, cuando se hacen trabajos complejos los resultados de ambos métodos son apropiados, aunque los métodos digitales están ganando importancia gracias a los avances en el proceso de imagen, via equipo de computación (harware) y programas (software).

La **interpretación visual de imagen** de sensor remoto está basada en las mismas habilidades utilizadas en la interpretación clásica de foto aéreas. La interpretación de las imágenes VIR y SAR es similar ya que la misma clave de interpretación es utilizada. Cuando las imágenes SAR son empleadas, las propiedades únicas de la imagen de radar deben ser recordadas e incorporadas en el proceso de interpretación.

Los elementos principales usados en la interpretación visual son:

- **Escala:** Es la relación entre las dimensiones lineales en la imagen y en el terreno.

S = Imagen/Terreno

En general, la escala (**S**) es expresada como una división con numerador igual a "**1**" y denominador "**D**":

S = 1/D

- **Forma y Tamaño:** la forma y el tamaño están unidos directamente a la escala; la forma se refiere a la forma espacial de un objeto o un área, la forma puede ayudar a distinguir entre los rasgos naturales y culturales.

El tamaño de un rasgo puede ser útil para distinguir los rasgos entre ellos en términos relativos. La escala es un factor, que influencia el tamaño de un objeto o un rasgo presente en la imagen. La forma, el tamaño y la escala son fundamentales para la definición de los patrones.

- **Tono:** El tono se refiere a la intensidad de energía recibido por el sensor para cierta banda del espectro. En el producto fotográfico, los píxeles con tonos oscuros indican aquellas áreas donde el sensor detectó una señal baja, mientras que las áreas claras son aquellas de valores de alta radiación. El tono está relacionado estrechamente con el comportamiento espectral de las diferentes coberturas de la tierra para la banda del espectro específica en la cual trabaja.

En las imágenes de radar, el tono resulta de la dispersión del objeto, las variaciones de tono son normalmente funciones de la intensidad de la retrodispersión radar desde el terreno; es decir, las superficies de agua lisas se ven oscuras porque actúan como reflectores especulares con la energía reflejada alejándose del sensor.

- **Color:** En las imágenes VIR el color es una consecuencia de la reflectividad selectiva de los objetos a las diferentes longitudes de ondas. Esas superficies con alta reflectividad en ondas cortas visibles y más bajas en el resto aparecen con el color azul, mientras aquellas que absorben ondas cortas y reflejan ondas largas aparecen con tonalidad roja. Si el sensor captura la información en bandas del espectro azul, verde y rojo, se puede obtener una composición en el color natural.

Las imágenes SAR son mono banda y por eso son vistas en tonos grises.

- **Textura:** La textura es la frecuencia de los cambios de color o de tono. Se refiere a la rugosidad aparente o a la suavidad de la región en imagen, representando el contraste de espacio entre los elementos del que está compuesto.

La textura de la imagen viene de la relación entre el tamaño de los objetos y la resolución del sensor. En general, la textura es clasificada en la textura gruesa, media o fina. En las imágenes SAR, se puede clasificar como suave, fina, granosa, lineal, manchada y muy manchado.

El contraste es la relación entre las áreas claras y oscuras o la relación del tono entre un objeto y los objetos a su alrededor.

- **Sombra:** Usualmente la sombra une las dimensiones del objeto (mayormente su altura) con el ángulo de la incidencia de la energía (El Sol o el haz de ondas).

En las imágenes SAR, las sombras indican el tipo de relieve. La longitud de la sombra puede ser usada para estimar la altura, mientras que su proyección indica la forma espacial.

Finalmente, la interpretación visual es llevada a cabo al evaluar todos los parámetros anteriormente mencionados y al comparar las características de los objetos mostrados con los patrones bien conocidos (cobertura de la tierra, infraestructura de drenaje, neto y urbano, etc).

El proceso de identificar o ayudar a identificar los rasgos a través del contexto local y regional es llamado asociación. Por ejemplo, el paisaje del terreno y las características del Mar Antártico tienden a formar asociaciones a través de relaciones naturales y procesos bien conocidos (bandejones, fracturas y glaciares).

- **Patrón:** El patrón representa el régimen de orden espacial o la repetición de rasgos. El espacio, la densidad y la orientación son indicadores del patrón; por ejemplo la red del río (o la vertiente de agua) está unida al relieve, el patrón dendritico es representativo de un área ondulante (montañas, lomas), mientras que los patrones serpenteantes representan áreas planas o llanas.

3.2.5 Procesado previo de datos y datos complementarios

Las imágenes satelitales, obtenidas por una tercera parte, habrán sido procesadas por la institución que las adquiere con el fin de estandarizar los productos disponibles. Un tratamiento base está hecho y cuando el cliente lo solicite, se puede complementar con tratamientos opcionales adicionales para mejorar la geometría y la radiometría del producto, adaptándolo mejor a los objetivos de su futura aplicación.

El tipo de proceso y sus denominaciones son característicos de cada sistema. En general, está organizado en jerarquía progresiva de correcciones, de manera tal que cada nivel incluya todos los anteriores mientras agrega otros.

Por ejemplo, para los productos HRV SPOT, existen los siguientes niveles de tratamiento (fig. 6.44):

Nivel 1A: Nivel básico general para todas las imágenes, donde una calibración de sensores en cada banda espectral ha sido hecha. No hay corrección geométrica. Las imágenes son usadas en los estudios radiométricos finos.

Nivel 1B: Se corrigen las deformaciones sistemáticas por la rotación terrestre, el efecto panorámico, el efecto de la deriva y la incidencia del ángulo. Existen correcciones para el origen geométrico, pero eso pudo haber influenciado la radiometría, ya que se lleva a cabo un re-muestreo.

Nivel 2: Las correcciones geométricas y de localización son llevadas a cabo usando datos internos y externos. Los datos internos empleados son: Datos de órbita restituida, geometría del campo de visión instantáneo (IFOV), datos auxiliares de restitución de datos del satélite. Los datos externos son: Parámetros del sistema de representación plana elegido, altura media para la rectificación, coordenadas de puntos de control terrestre (GCP).

Hay 2 subniveles, en función de la utilización o no de los GCP:

Nivel 2A: Se realizan correcciones bidimensionales para transferir la escena a cierta proyección cartográfica (Mercator, Mercator Transversal, Lambert, etc.-ver Capitulo 2). Se emplean los datos de altitud del satélite y de geometría del IFOV (campo de visión instantáneo), sin utilizar los GCP.

Nivel 2B: La corrección geométrica usa los GCP, obteniendo una mayor precisión que en el Nivel 2 A.

Nivel 3: Las deformaciones geométricas producidas por el relieve son consideradas. Se necesita los datos de los Modelos de Elevación Digital (DEM). La precisión de posición absoluta está en el orden de los 0.5 píxeles. Como resultado, se obtiene un ortomorfismo.

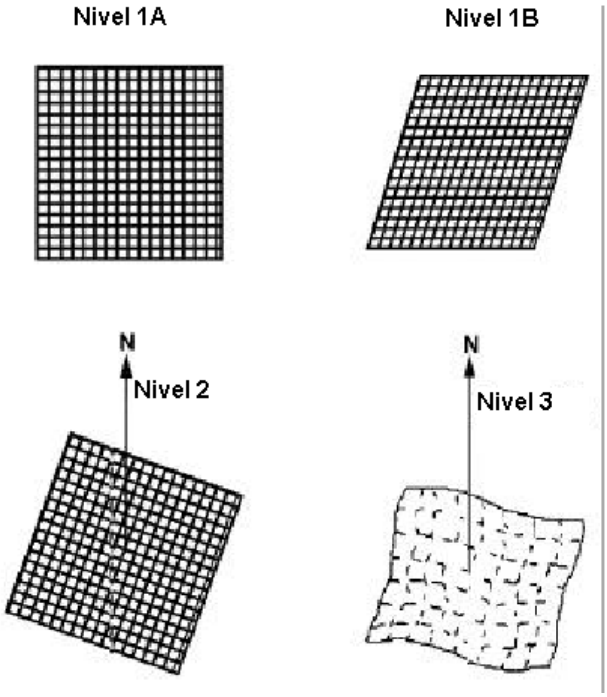


Fig 6.44 "Niveles de procesado de imagen SPOT (Adaptado de GDTA, 1993)"

Data complementarios

El procesado de la imagen necesita de los datos complementarios para ser usados en sus correcciones geométricas y la preparación del producto cartográfico final. La geo-codificación puede ser hecha sin el GCP paro la posición resultante es sólo relativa, si se necesita un vínculo a un sistema de referencia, se deberá usar el GCP.

Los puntos de control terrestre (GCP) son puntos con coordenadas conocidas y que resultan perfectamente detectables en la imagen. Se utilizan para definir las ecuaciones de transformación de coordenadas de imagen a coordenadas en un sistema de referencia cartográfico determinado. Se pueden obtener de documentos cartográficos (cartas) o a partir de trabajos topográficos de campaña. En determinados casos pueden instalarse en el terreno señales reflectoras (transponders), que son fácilmente detectables en la imagen, de modo de permitir la geocodificación en zonas con pocos detalles naturales o artificiales.

Los datos cartográficos adicionales (tipo de costas, obstáculos a la navegación, detalles costeros y de infraestructura urbana, portuaria y vial) pueden emplearse para la interpretación de la imagen o para enriquecer el producto final. Estos se pueden obtener a partir de digitalización de cartas existentes, de bases de datos georreferenciadas (GIS), o bien de levantamientos de campaña complementarios.

3.2.6 Procesado de imagen

Las imágenes satelitales presentan distorsiones geométricas y radiométricas, que dependen del tipo de sensor, la plataforma y las condiciones de captura. En las aplicaciones hidrográficas, la información de multiples fuentes es usada muy frecuentemente. Por lo que, para estandarizar, y por ende para ser capaz de comparar e integrar los datos adquirida con otra información, debe ser un procedimiento normal el rectificar y restaurar las imágenes del satélite. El proceso de nivelación y de corrección depende de las imágenes evaluadas y de la aplicación a la que el producto final va a ser expuesto. En algunos casos puede ser suficiente sólo corregir los errores de sistema y luego co-registrar las imágenes con otra data previamente geo-referenciada; en otros casos, las imágenes serán corregidas y representadas en una proyección cartográfica con una escala dada. La corrección completa de una imagen envuelve el proceso inicial de una data de imagen cruda para eliminar las distorsiones geométricas, la calibración radiométrica y la reducción del ruido de los datos real.

Cuando las imágenes de distintas fuentes (como LANDSAT TM, SPOT PAN, etc) son usadas, el proceso de corrección geométrica, la rectificación, la calibración radiométrica y el resaltamiento son los requerimientos previos a la fusión de la imagen y estos aseguran la compatibilidad en base píxel a píxel. El resaltamiento radiométrico es tan importante como la integridad geométrica en todos los aspectos de la cartografía con las imágenes ya que la calidad de la imagen fusionada final depende de la precisión de las correcciones geométricas en cada imagen participante (Pohl, 1996). Se le debe dar particular consideración a ésto dado el empleo frecuente de las imágenes en mosaico para completar sectores de cartas.

<u>Tratamientos Geométricos</u>

Las distorsiones geométricas pueden ser clasificadas como sistemáticas (predecible y corregible) y accidentales (al azar). Los errores accidentales son corregidos aplicando polinomios con puntos de control terrestre (GCP) convenientemente distribuidos en la imagen.

Las correcciones geométricas pueden ser agrupadas en los siguiente procesos:

Co-registro (o simplemente registro): es el ajuste de una imagen tomando como referencia otra imagen, usando una transformación polinomial entre los puntos en común de ambas. Es usada cuando se comparan ambos grupos de datos, sin utilizar la proyección cartográfica (posición absoluta).

Geo-referencia: Consiste en la asignación de coordenadas a los píxeles de la imagen por medio de la definición de las ecuaciones de transformación.

Geo-codificación: Comprende el paso de la imagen al mapa por medio de la aplicación de las ecuaciones de transformación. La imagen se torna una carta, donde cada pixel tiene su correspondiente par de coordenadas geográficas. La geocodificación es central para la integración de imágenes de distintas fuentes, logrando la compatibilidad integral de sus datos en una base pixel a pixel.

Ajuste polinomial

La rectificación es un método relativamente simple para corrección geométrica de las imágenes. Consiste en la transformación de la imagen original en base a una serie de puntos distribuidos apropiadamente con coordenadas conocidas. Es necesario que los puntos tengan coordenadas en ambos sistemas: origen (**x & y**) y final (**X & Y**).

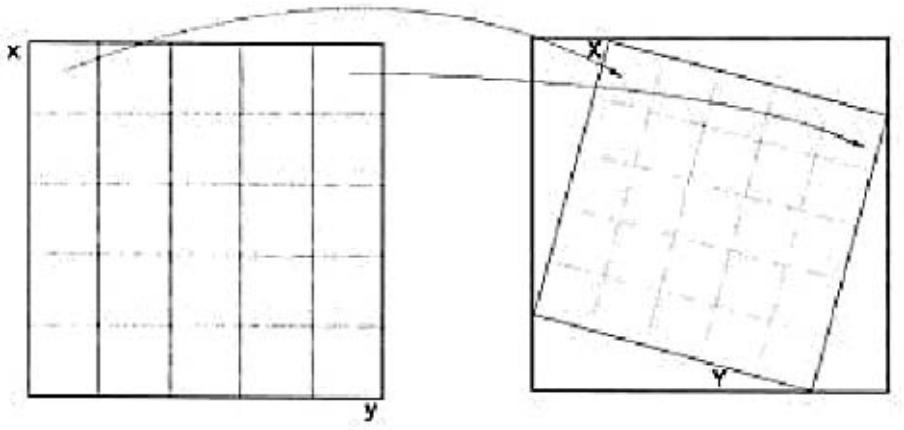


Fig. 6.45

El número de puntos conocidos esta relacionado con el polinomio a utilizar; a medida que el orden del polinomio se incrementa, se requiere un número mayor de puntos con coordenadas conocidas. Se confecciona un sistema de ecuaciones, cuyos coeficientes son obtenidos por el método de ajuste de mínimos cuadrados.

Un polinomio de primer orden (lineal) requiere 6 puntos de coordenadas conocidas. Corrige la imagen por traslación, rotación, escala, inclinación, perspectiva y distorsiones oblicuas. (Fig. 6.46).

$$X = a_0 + a_1 x + a_2 y$$

$$Y = b_0 + b_1 x + b_2 y$$

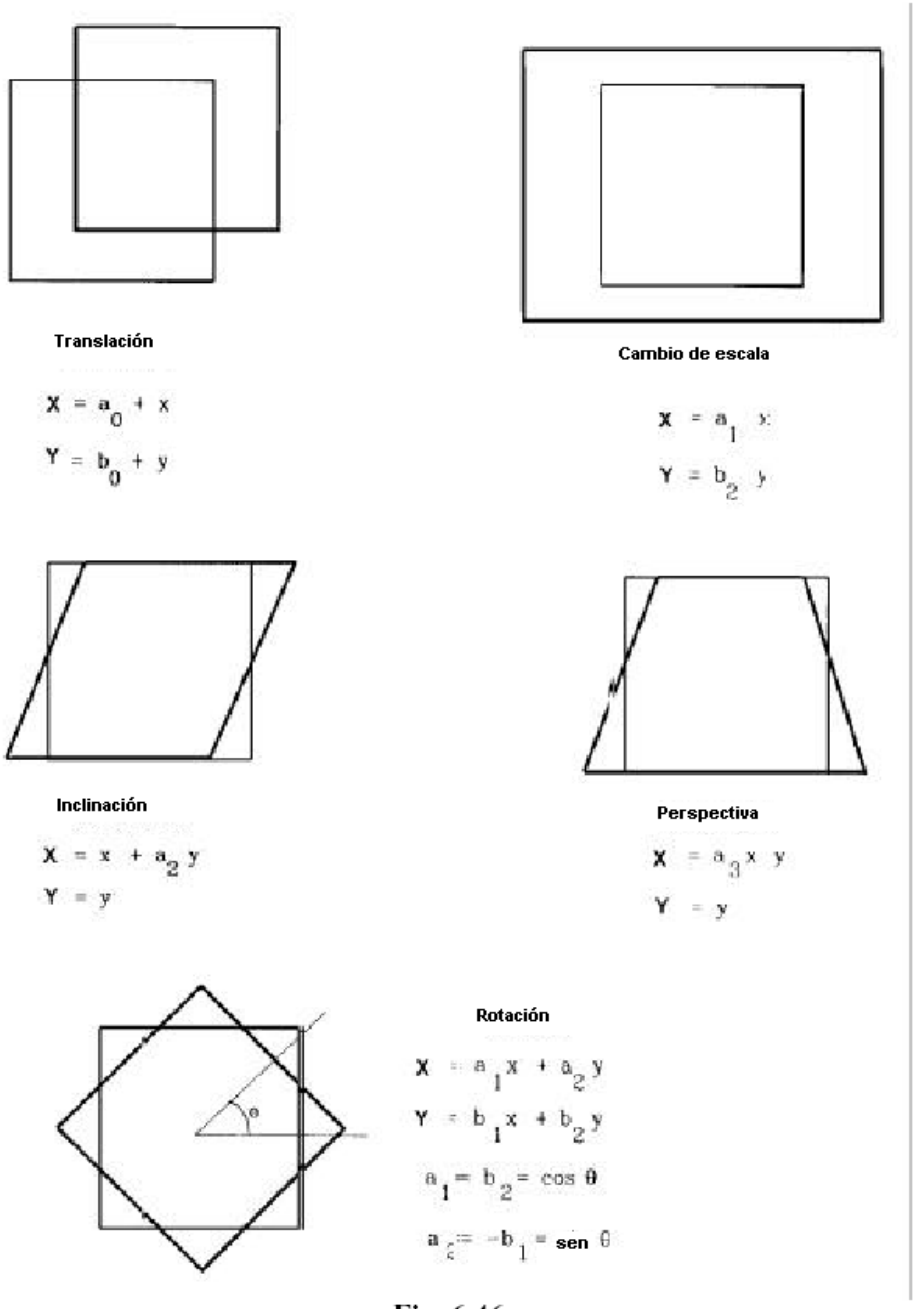


Fig. 6.46

Una polinomial de segundo orden necesita de 12 puntos de coordenadas bien conocidos; agrega torsión y parámetros de convexidad.

$$X = a_0 + a_1 x + a_2 y + a_3 x^2 + a_4 xy + a_5 y^2$$

$$Y = b_0 + b_1 x + b_2 y + b_3 x^2 + b_4 xy + b_5 y^2$$

Aplicando estas ecuaciones, la imagen original puede transformarse, dando por resultado una imagen trasladada, rotada, escalada y deformada.

La aproximación polinomial sólo corrige localmente la imagen, ya que depende de la distribución de los puntos y de su precisión. En general asegura una imagen correcta en terrenos llanos y sin rasgos, pero no es muy útil para áreas muy ondulantes.

La efectividad del ajuste viene de la evaluación de los residuos (desviaciones); el indicador más utilizado es el de error de Raíz Cuadrada Media (RMS).

La asignación de un DN apropiado al píxel de nueva posición (**X** & **Y**) puede ser hecha siguiendo algoritmos diferentes: el vecindario más cercano, la interpolación bilineal y la circunvolución cúbica.

El vecino más cercano asigna a cada píxel de la imagen transformada el DN del píxel más cercano en la imagen original. Es la solución más rápida, pero algunos rasgos lineales (como caminos o riveras de río, etc.) pueden aparecer como líneas fracturadas en la imagen transformada.

La interpolación bi-lineal calcula el promedio medido de los 4 píxeles más cercanos. Aquí la distorsión de los rasgos lineales es menor pero el contraste espacial es disminuido.

La circunvolución cúbica considera el DN de los 16 píxeles más cercanos. Produce una imagen mejor transformada pero necesita de una capacidad de cálculo considerablemente más grande.

En resumen, la elección del método depende del uso final y del objetivo del proyecto, de los recursos informáticos disponibles (hardware y software) y de la disponibilidad de GCP. También el proceso de la imagen difiere dependiendo de si la imagen viene de un sistema óptico (VIR) o de un micro ondas (SAR).

Efectos geométricos en las imágenes VIR

En general, las imágenes ópticas están más distorsionadas por el proceso de obtención de la imagen misma que por las características físicas de la escena. Para algunos sensores, como el TM LANDSAT por ejemplo, el aspecto (forma) y el movimiento de rotación terrestre son factores importantes para considerar durante la corrección de sus imágenes. En general, estos procesos son hechos por el proveedor (ver punto 3.3.5).

Para la geocodificación, como se describió anteriormente (ver punto 3.3.4), son necesarios los datos de las coordenadas bien conocidas (GCP) y, en general, es beneficioso un ajuste por medio de los polinomios.

Efectos geométricos en las imágenes SAR

El SAR es un sistema muy sensible a los aspectos fisico-quimico y geométrico del objetivo. El SAR emite un haz de energía que golpea la superficie del objetivo en sus laterales, creando una geometría particular con sus imágenes (Fig. 6.47) que pueden ser resumidas en los siguientes términos:

- Altitud : distancia entre el satélite y el punto sub satélite de la superficie de la Tierra;
- Nadir: Intersección del vertical desde el satélite con la superficie terrestre;
- Acimut: dirección, referida al Norte, de la trayectoria del punto Nadir del satélite en la superficie terrestre;...
- Vectores de distancia: vectores que conectan el SAR con el terreno, correspondiendo a cada muestra de distancia medida en un momento de transmisión de pulso sencillo.

- Distancia real: la distancia desde el sensor a un objetivo localizado en la dirección de distancia.

- Dirección de distancia: dirección de los vectores de distancia (perpendicular al acimut);

- Distancia horizontal: La distancia de inclinación proyectada a la superficie de la Tierra;

- Ángulo de Incidencia: El ángulo entre el vector de distancia del radar y la dirección vertical local (normal Tierra);

- Ángulo de incidencia local: Ángulo entre el vector de distancia del radar y el normal a la superficie de cada elemento en la tierra.

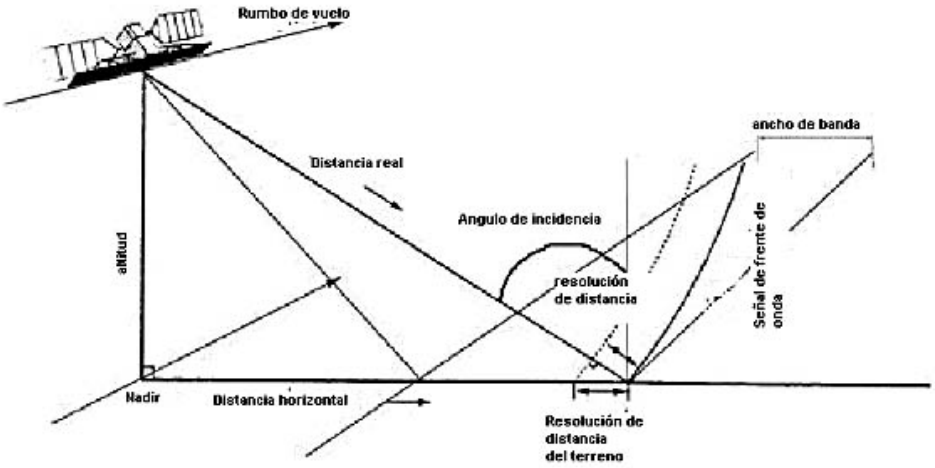


Fig. 6.47 "Geometría de imagen SAR (adaptada de Raney 1992)"

El principal parámetro es el ángulo de incidencia local (Fig. 6.48). Se puede ver que la geometría de la interacción de la señal-objeto es una función de la inclinación del terreno, que causa varias distorsiones que la diferencian de la proyección ortogonal verdadera.

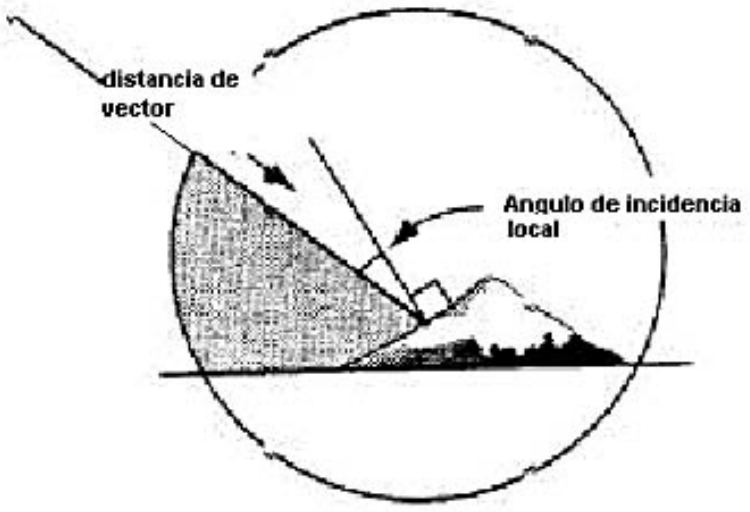


Fig. 6.48 "Ángulo de incidencia local (adaptada de Raney 1992)"

Las distorsiones principales son llamadas efectos de "escorzo", "escala", y de "sombra" (Fig. 6.49).

El efecto de “escorzo” ocurre cuando el ángulo de incidencia local es menor que el ángulo de incidencia pero mayor que cero. Esta distorsión produce un efecto que hace que la inclinación vista parezca acortada e inclinada sobre el sensor.

En casos de ángulos de incidencia pequeños o de un relieve muy abrupto, la señal del radar vuelve del pico de la montaña antes que de la base, produciendo el efecto de “escala”. En estos casos el ángulo de incidencia local es mayor al ángulo de incidencia.

La “sombra” ocurre en las inclinaciones que no están iluminadas por la señal del radar. Estas áreas se muestran muy oscuras (sin información) en las imágenes.

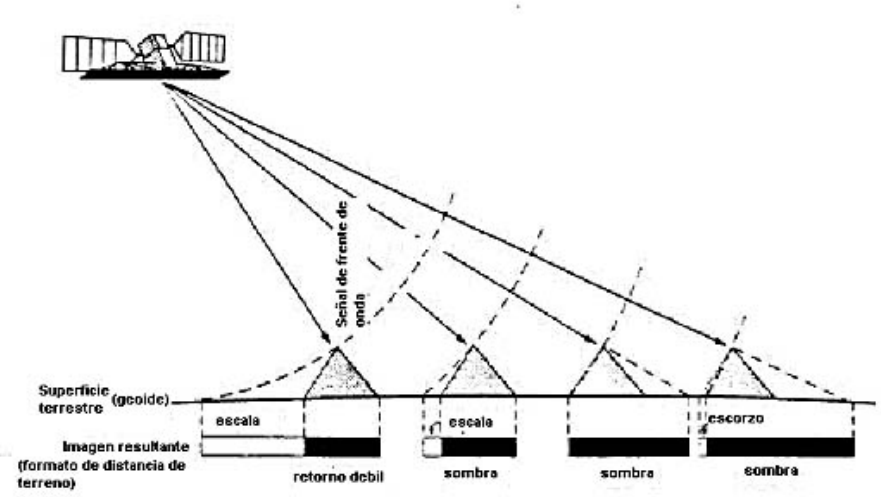


Fig. 6.49 “Distorsiones dadas por el relieve (adaptadas de Lillesand y Kiefer 1987)”

<u>Tratamientos radiométricos</u>

Estas técnicas son útiles para mejorar la radiometría, de modo que los rasgos de interés se muestren más claramente y más comprensibles al intérprete. Estos son métodos adicionales a los mencionados anteriormente y ayudan a la interpretación de los rasgos topográficos.

Un método común comprende el manejo de la estadística de la imagen, representada por su histograma, que detalla la frecuencia espectral `para cada banda de la imagen.

Para mejorar la interpretación de la imagen, se modifica la asociación entre los valores numéricos y el rango de gris o de color, con la intención de aumentar el contraste global de la imagen (estiramiento de histograma). Esto es equivalente a alterar los valores digitales actuales por mínimo (MIN) y máximo (MAX) con los nuevos valores distribuidos dentro de los 255 niveles para hacer uso de todos los niveles de gris posibles.

La distribución puede hacerse de varias formas, la más frecuente es la distribución lineal, que envuelve los valores entre MIN y MAX siendo distribuidos en una línea recta entre 0 a 255 (Fig. 6.50).

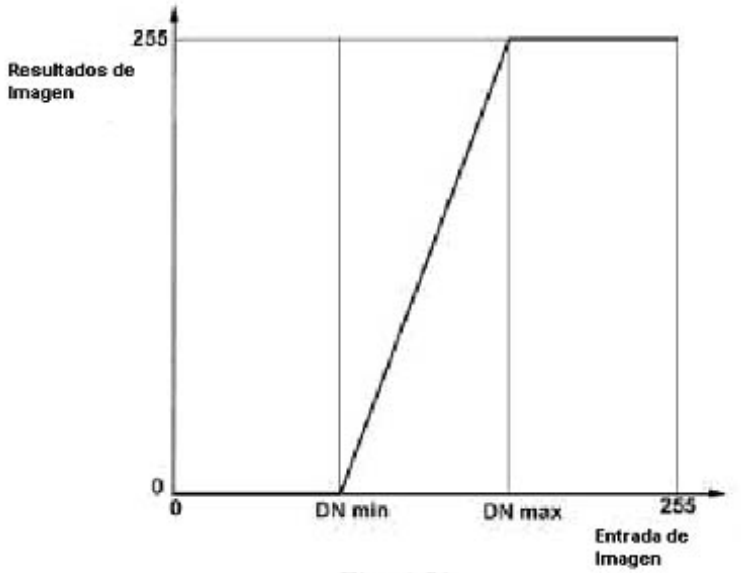


Fig. 6.50

Otros medios para ayudar a la interpretación de imágenes es la aplicación de filtros espaciales. Estos son usados para seleccionar o enmascarar un rango de valores, dentro de la escala total de DN. Estos filtros omiten ciertas frecuencias, dependiendo del tipo de filtro. El filtro pasa bajo reduce el rango de DN en una zona, reduciendo los detalles y suavizando el aspecto general de la imagen. El filtro pasa alto resalta los gradientes de DN, es decir los valores límites, y es usado para detectar mejor los caminos, ferrocarriles, riberas de ríos, etc.

El filtro ideal es el que suaviza las áreas homogéneas mientras que al mismo tiempo preserva el límite y la textura; debe mantener el promedio aritmético y disminuir la desviación estándar.

En las imágenes SAR, los filtros adaptables son ejemplos de filtros pasa alto y son empleados para minimizar los efectos del moteado. Ha habido numerosos algoritmos desarrollados en tiempos recientes: Lee, Kuan, Frost y Gamma MAP.

En resumen, los filtros son importantes para resaltar los rasgos y pueden contribuir a la interpretación topográfica, si son utilizados cuidadosamente y con discreción.

Las distorsiones radiométricas en imágenes VIR

Las fuentes de distorsiones radiométricas son la atmósfera (debido a los efectos de dispersión y de absorción), el sensor (el efecto de “bandas”) y la iluminación solar. Estos efectos están descritos en detalle `por Lillesand y Kiefer (1994) y Richards (1986).

Entre los distintos componentes de la atmósfera, el efecto de vaporización del agua en forma de niebla puede ser reducido al aplicar la modificación del histograma.

Un problema común es la presencia de nubes, las cuales reducen los datos detectables en las imágenes ópticas. Las áreas cubiertas con nubes presentan un centro con un alto DN (blanco, cerca de 255) con bordes difusos y grises. Sus correspondientes sombras son detectadas también con un DN muy bajo. La resolución es mediante la aplicación de diversos métodos (de umbral y de sección de densidad) y máscaras, pero requieren un control cuidadoso, ya que se pueden producir algunos errores.

En general, las distorsiones rediométricas creadas por el sensor son pequeñas comparadas con las influencias atmosféricas. Las más importantes de estas distorsiones son aquellas generadas por los detectores, que se manifiestan en forma de bandas. Este es un efecto recurrente, que puede ser retirado después de la interpretación o del procesado de la imagen (Crippen, 1989).

La corrección para las diferentes iluminaciones solares requiere de una razón entre las bandas (relación de bandas). Esta corrección no es aplicada con frecuencia, ya que la iluminación solar produce un efecto que facilita la interpretación visual para la actualización cartográfica.

Distorsiones radiométricas en imágenes SAR

Las imágenes SAR presentan sus propias características, que necesitan de tratamientos y calibración particulares. Estas características están relacionadas al moteado, el proceso basado en múltiples vistas, el rango de DN y las correcciones específicas radiométricas.

El **"moteado"** es un fenómeno característico de las imágenes de radar; es producido por la interferencia del haz coherente con varios reflectores individuales. La energía retrodispersada representada en un pixel está formada a partir de las contribuciones de un gran número de reflectores individuales, tales como el follaje de árboles y vegetación. La interferencia de las ondas de regreso al SAR produce variaciones en el nivel de gris de los píxeles cercanos, creando una apariencia granosa a la imagen. El moteado ocurre en sistemas activos que utilizan ondas coherentes y limita la resolución radiométrica de las imágenes SAR (Hoeckman, 1990, Schumann, 1994).

Ya que es un efecto al azar, no puede ser eliminado totalmente. El impacto puede ser disminuido usando varios procedimientos, que reducen la resolución espacial.

El proceso basado en vistas múltiples (**procesado multivista**) es un procesado de la señal de radar, empleado para reducir el moteado. Se puede lograr al procesar la señal para crear imágenes independientes de una vista a una resolución reducida, identificándolas y luego nivelando el poder de la imagen para formar una imagen de múltiples vistas o se puede lograra al procesar los datos a una resolución completa y al promediar espacialmente la imagen desarrollada. La relación señal – ruido de la imagen es conservada en el procesado de múltiples vistas. El procesado de múltiples vistas requiere de un hardware y un software especial, de manera que es normalmente ejecutado en la base de recepción de datos.

La medida del número digital "DN" del pixel depende del rango dinámico de las firmas del radar en la escena y del código digital usado para crear la imagen. Frecuentemente los datos SAR son entregados en 32 o 16 bits por pixel, sin embargo muchos paquetes sólo manejan datos de 8 pulsos. Las medidas de 16 o 32 pulsos requieren de capacidades de almacenamiento y procesado grandes. Otras condiciones (resolución del ojo humano, muestra y/o capacidad de impresión, etc.) hacen más conveniente transformar los datos final al rango de los 8 pulsos, por lo que estos datos están expresados en un rango de 0 a 255 niveles de gris. El proceso de conversión a 8 bits es denominado "**escalamiento**".

Frecuentemente se requiere el mejoramiento radiométrico adicional para usar el rango total (0 a 255). Este proceso, "**estiramiento**", aumenta el contraste de la imagen permitiendo la mejor detección de diversos rasgos.

Para la **calibración de las imágenes SAR** en particular, se puede aplicar dos tipos de procesado radiométrico:

- Calibración Absoluta: establece una relación entre el DN en la imagen SAR y la retrodispersión del objetivo disperso, independientemente del tiempo. Es usado cuando el DN debe ser comparado entre 2 o más imágenes, por ejemplo para el grosos (edad) del hielo marino, los efectos ambientales, etc.

- Calibración Relativa: establece la misma relación entre el DN y la retrodispersión, pero sólo dentro de la imagen Esto resulta en un objetivo teniendo el mismo brillo sin importar de donde en la imagen del SAR fue tomado.

Generalmente la calibración radiométrica se lleva a acabo en la facilidad de adquisición de los datos.

3.2.7 Altimetría

La información altimétrica de la Costa y de Tierra es de gran ayuda al higrógrafo. La descripción del relieve facilita la clara comprensión de la topografía costera, las islas, el puerto y la infraestructura de la señal, etc. Los sistemas de satélite de alta resolución permiten representar del relieve por numerosos medios diversos. Actualmente, la representación cartográfica del relieve se realiza por modelización numérica (Modelo Numérico del Terreno MNT = TNM) y sus versiones digitales (Modelo de Elevación Digital DEM o el Modelo de Terreno Digital DTM).

Se han desarrollado procesos para procesar varios tipos de datos (fotografía de espacio, sensores VIR, SAR, altímetros), con diferentes formatos (analógico, digital) y para métodos distintos (sombreado, estereoscopia, interferometría, polarimetría) aprovechando las diferentes características de los sensores y las imágenes (geometría, radiometría, fase), aplicando varios tipos de tecnologías (analógica, digital analítica) y para el procesado (interactiva, automática).

Entre los métodos, los estereoscópicos han sido los que inicialmente se han divulgado en la cartografía gracias al precursor de la bien desarrollada estéreo aerofotogrametría (ver punto 3.1).
Viniendo de los últimos avances de la visión estérea de computación, se han logrado avances considerables en la estereoscopIa satelital. Adicionalmente la estereoscopIa de la imagen de radar ha tenido el estímulo importante en los últimos 20 años.

Desde el lanzamiento del ERS-1, las técnicas interferométricas se han extendido utilizando los modelos paramétricos desarrollados anteriormente. Con la inicio del RADARSAT-1 en 1995, la radargrametría se consolidó entre las diferentes metodologías para la aplicación altimétrica, utilizándola sola o complementada con las imágenes VIR (Toutin, 2000).

- **<u>Métodos Esterescópicos</u>**

Los métodos estéreo son procedimientos similares a aquellos usados en la aerofotogrametría (ver punto 3.1.7), en la que dos imágenes son usadas para la construcción del modelos estéreo tridimensional.

Un plotter digital estéreo permite la medición de los rasgos usando dos maracas flotantes (una para cada par de imágenes estéreo), que permiten vistas a ser fusionadas para dar coordenadas cartográficas en 3D (Toutin 1995).

El proceso de los pares estéreo requiere del uso de un equipo de resolución digital y de un programa específico. En el presente existen sistemas compactos, basados en computadoras personales (PC) que permiten la restitución estéreo de los distintos tipos de imágenes digitales (aire, espacio, VIR, SAR). (Fig. 6.51).



Fig. 6.51 "Esquema de plotter- estéreo Digital"

Existe una variedad de combinaciones para capturar ambas imágenes, que pueden ser obtenidas en los mismos pases direccionales o en los contrarios, los diversos ángulos de incidencia, etc.

El sistema HRV-SPOT establecido tiene un equipo movible instalado en el equipo óptico, que facilita la observación de la misma área en los pases sucesivos (Fig. 6.52).

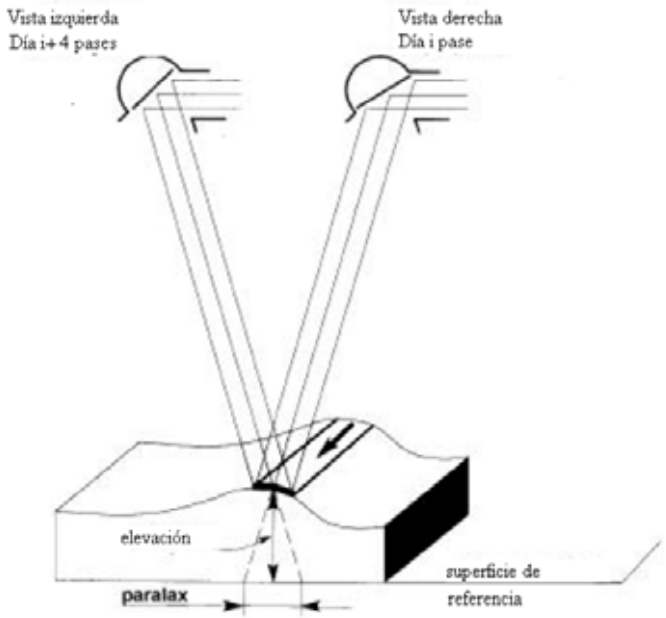


Fig. 6.52 "Amplitud estéreo HRV SPOT"

El sistema MOMS permite capturar las imágenes en el mismo pase, mediante cámaras en las direcciones hacia adelante, hacia atrás y hacia el nadir. Las imágenes en serie son tomadas a intervalos de 20 segundos, desde tres puntos de vista diferentes (Fig. 6.53).

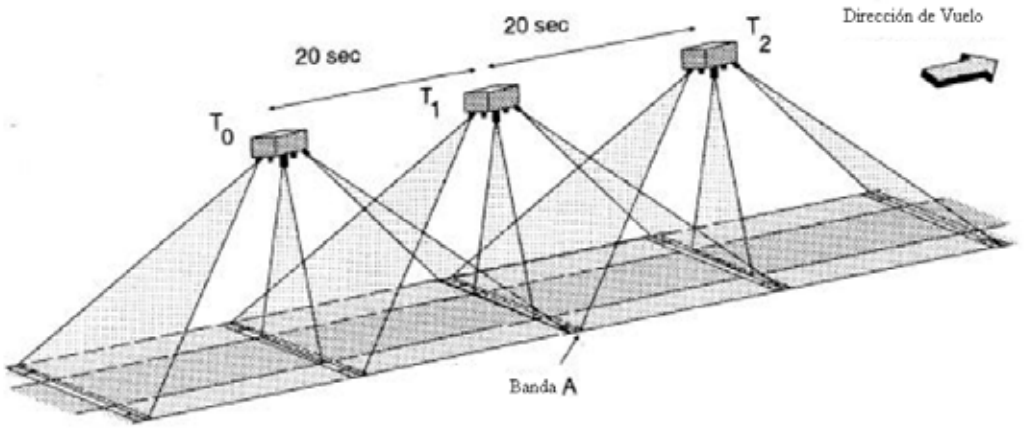


Fig. 6.53 "Geometría estéreo MOMS – 02 (DARA, 1994)"

Otro sistema es el nuevo instrumento HRS (Estereoscópico de Alta Resolución) en el SPOT-5 que tiene dos telescopios, uno mirando hacia el frente y otro hacia atrás en la dirección de la trayectoria orbital.

EL telescopio de mirada hacia el frente captura imágenes en un ángulo de visión de 20º por delante del vertical. Noventa minutos después, el telescopio de mirada hacia atrás adquiere la misma área terrestre a un ángulo de 20° respecto a la vertical. (Fig. 6.54).

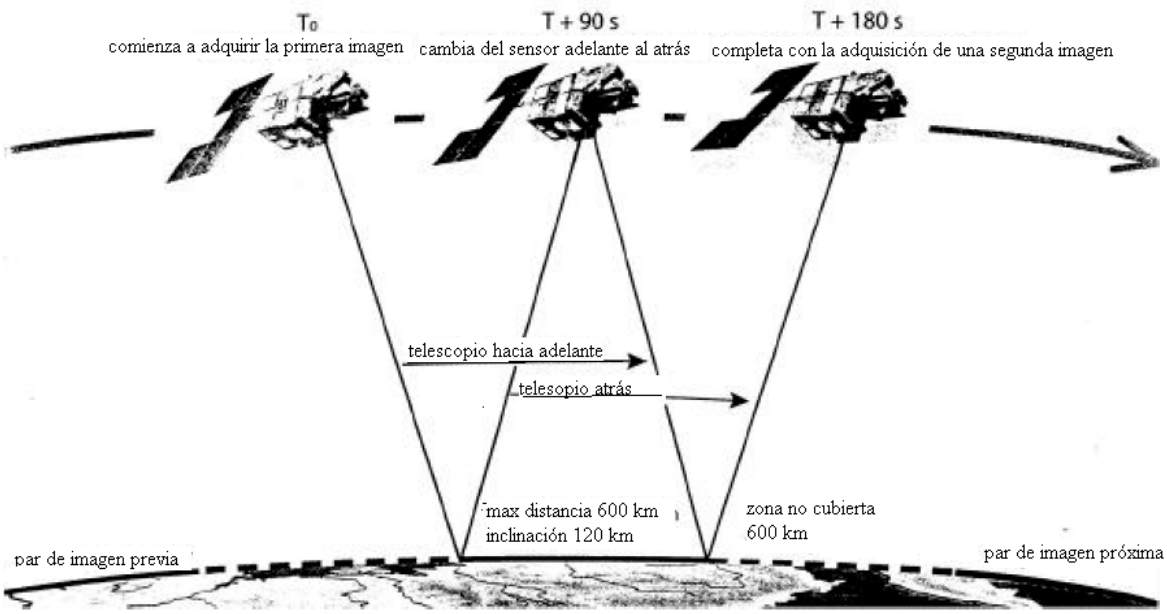


Fig. 6.54 "Estéreo geometría HRS SPOT – 5 (SPOT IMAGE, 2002)"

- **Radargrametría**

La radargrametría es una técnica similar a la fotogrametría que usa imágenes obtenidas de la señal del radar. Un par de imágenes es adquirido y utilizando su correlación se genera una DEM. En este caso, se debe notar que el ángulo de incidencia es complementario al correspondiente a una imagen óptica. La precisión absoluta es del orden del tamaño de un píxel. Como con la estereoscopia, existen diversas configuraciones (Fig. 6.55).

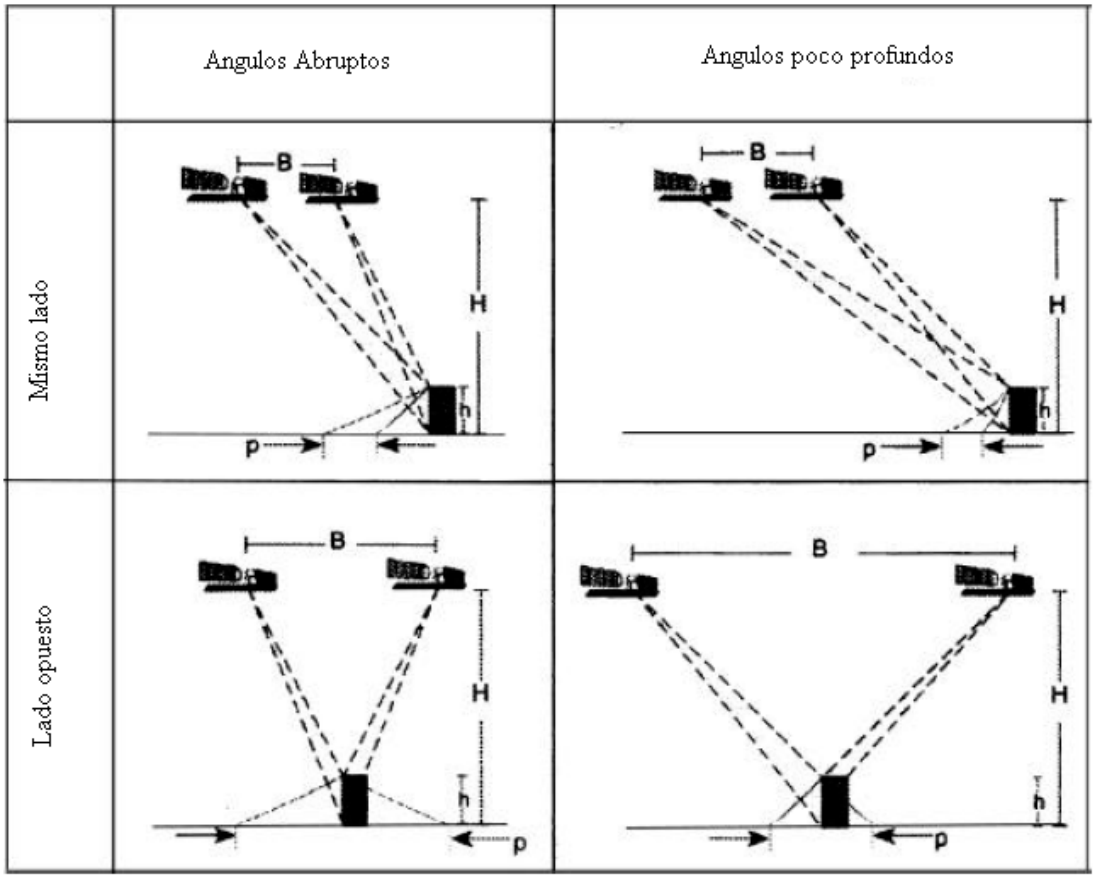


Fig. 6.55 "Diversas configuraciones del SAR estéreo (Toutin, 2001)"

- **Interferometría**

Con el conocimiento de la fase de la señal del radar se pueden generar un canal de diferencia de fase y un canal de coherencia de fase (ángulo de fase constante). Son útiles para interpretar la información interferométrica.

Dos escenas, tomadas durante dos pases cercanos del satélite y a una distancia llamada "base", son requeridas. La base debe ser menor que el valor máximo, dependiendo de la frecuencia de la onda electromagnética y entre 0.5 y 1 km. Las condiciones ambientales (viento, lluvia, etc.) deben ser tan similares como sea posible en las dos ocasiones de captura.

Una de las escenas, la primaria, s usada como referencia para los cálculos. La otra, la segundaria, junto con la primaria, es usada para calcular un canal de diferencia de fase, llamado interferograma y uno de coherencia, que es un indicador sel grado de dependencia de las medidas de fase. Las fases deben ser desarrolladas entonces, adoptando una resolución y transformando las franjas del interferograma en las curvas de nivel del terreno.

Los problemas de este método:

a. La medición es ambigua; ya que la diferencia de fase es conocida exactamente pero no la cantidad (número) de las ondas completas a la distancia del objetivo del radar.

b. La fase depende de las características radio eléctricas del objetivo. Si son modificadas entre las escenas, la coherencia no se logrará. Sin embargo, si las franjas del interferograma puede ser construida correctamente, indica que el objetivo ha permanecido inalterable.

3.2.8 Aplicación cartográfica

En las últimas décadas el potencial considerable de las imágenes del satélite, especialmente en el dominio óptico para la actualización cartográfica, ha sido completado. De acuerdo al ISPRS, los requerimientos cartográficos utilizando las imágenes de espacio, pueden ser divididos en tres categorías:

- Precisión planimétrica;
- Precisión altimétrica;
- Detectabilidad (Konecny, 1990).

A medida que la **precisión planimétrica** es más exigente junto con la resolución cartográfica de +/- 0.2 mm, que genera los requerimientos de las escalas (1/D) más frecuentes son (Tabla 6.6):

D	Precisión Planimétrica
25.000	+/- 5 m
50.000	+/- 10 m
100.000	+/- 20 m
200.000	+/- 40 m

Tabla 6.6

El requisito para la **precisión altimétrica (h),** conociendo que la equidistancia (intervalo de contorno "**e**") es e = +/- 5. h, mostrado en la Tabla 6.7.

E	H
20 m	+/- 4 m
50 m	+/- 10 m
100 m	+/- 20 m

Tabla 6.7 (Konecny, 1990)

La **detectabilidad** se refiere a la posibilidad de detectar objetos comenzando con la interpretación digital de las imágenes. Es un requisito que el objeto cubra al menos 1.5 píxeles, que crea a las siguientes dimensiones mínimas para los objetos detectables (Tabla 6.8).

Objeto - Objetivo	Dimension
Infraestructura urbana	2 m
Caminos rurales	2 m
Red de drenaje	5 m
Infraestructura vial	10 m

Tabla 6.8 (Konecny, 1990)

Tomado en consideración los principales sistemas de satélite comercial y las escalas cartográficas más comunes, la siguiente carta puede ser producida (Tabla 6.9).

Sensor satelital	Resolución del terreno	Escala de la carta
QUICK BIRD		1/3500
IKONOS	1 – 4 m	1/5000 – 1/20 000
SPOT PAN	10 m	1/50 000
Landsat 7 ETM	15 m	1/75 000
SPOT XS	20 m	1/50 000 – 1/100 000
RADARSAT 1 SAR	8 – 30 m	1/30 000 – 1/100 000
ERS SAR	30 m	1/100 000
Landsat TM	30 m	1/100 000
Landsat MSS	80 m	1/250 000
SAC-C MMRS	175 m	1/875 000

Tabla 6.9

PRINCIPALES SISTEMAS DE SATELITE DISPONIBLES

La siguiente lista de sistemas no es exhaustiva. Detalla algunos de los sistemas más usados regularmente para las escalas medio-alto de cartografía.

Serie/ Sistema de Satélite **País**	*Típo de órbita, Altitud, Período recurrente, Inclinación*	**Area de escana, Resolución del Terreno, Modos**	***Sensores*** **Bandas espectrales**
LANDSAT USA	Helio sincrónico 705 km 16 days 98.2°	185 x 185 km MSS: 80 m TM: 30 m ETM+:	 Multispectral Scanner (MSS) Banda 1: 0.5 – 0.6 μm (green) Banda 2: 0.6 – 0.7 μm (red) Banda 3: 0.7 – 0.8 μm (near IR) Banda 4: 0.8 – 1.1 μm (near IR) Thematic Mapper (TM) Banda 1: 0.45 – 0.52 μm (blue) Banda 2: 0.52 – 0.60 μm (green) Banda 3: 0.63 – 0.69 μm (red) Banda 4: 0.76 – 0.90 μm (near IR) Banda 5: 1.55 – 1.75 μm (near IR) Banda 6: 10.4 – 12.5μ m (thermal IR) Banda 7: 2.08 – 2.35 μm (mid IR) Enhanced Thematic Mapper (ETM+)
SPOT Francia	Helio sincrónico 832 km 23 days 98.7°	60 x 60 km XS: 20 m P: 10 m	High Resolution Visible (HRV) Multi Band (XS) Banda 1: 0.49 – 0.59 μm (green) Banda 2: 0.61 – 0.68 μm (red) Banda 3: 0.79 – 0.89 μm (near IR) Panchromatic (P) 0.51 – 0.73 μm
IRS India	Helio sincrónico 900 - 904 km 22 days 99.5°	148 x 148 km LISS-I: 73 m LISS-II: 36.5 m	Linear Imaging Self Scanning (LISS-I) Banda 1: 0.45 – 0.52 μm (blue) Banda 2: 0.52 – 0.569 μm (green) Banda 3: 0.62 – 0.68 μm (red) Banda 4: 0.77 – 0.86 μm (near IR) Linear Imaging Self Scanning (LISS-II) Consists of 2 cameras, same as above, with swath width 74 km per camera (145 km together)

Serie/ Sistema de Satélite **País**	*Típo de órbita, Altitud, Período recurrente, Inclinación*	**Area de escana, Resolución del Terreno, Modos**	***Sensores*** **Bandas espectrales**
MOS Japan	Helio sincrónico 909 km 17 days 99°	100 x 90 km MESSR: 50 m	MESSR Banda 1: 0.51 – 0.59 μm (green) Banda 2: 0.61 – 0.69 μm (red) Banda 3: 0.72 – 0.80 μm (near IR) Banda 4: 0.80 – 1.10 mμ (near IR)
JERS Japón	Helio sincrónico 568 km 44 days 97.7°	75 x 75 km OPS: 18 x 24 m SAR: 18 x 18 m	Optical Sensor (OPS) Visible and Near Infrared (VNIR) Banda 1: 0.52 – 0.60 μm (green) Banda 2: 0.63 – 0.69 μm (red) Banda 3: 0.76 – 0.86 μm (near IR) Banda 4: 0.76 – 0.86 μm (near IR) Short Wave Infrared (SWIR) Banda 5: 1.60 – 1.71 μm Banda 6: 2.01 – 2.12 μm Banda 7: 2.13 – 2.15 μm Synthetic Aperture Radar (SAR) 1.275 GHz (L-Band) HH
ERS Europa	Helio sincrónico 777 km 3 - 35 days 98.5°	AMI trabaja en tres modes. En modo imagen: 100 x 100 km 30 x 30 m (3 looks)	Active Microwave Instrument (AMI) Synthetic Aperture Radar (SAR) 5.3 GHz (C-Band) VV Incidence angle fix: 23°
RADARSAT Canadá	Helio sincrónico 798 km 3 - 24 days 98.6°	Several modes In standard mode: 100 x 100 km 30 x 30 m (3 looks) En modo fino: 50 x 50 km 11 x 8 m (1 look)	Synthetic Aperture Radar (SAR) 5.3 GHz (C-Band) HH Angulo de incidencia seleccionable: En modo standard: 20° – 50° En modo fino: 37° – 48°

Serie/ Sistema de Satélite **País**	*Típo de órbita, Altitud, Período recurrente, Inclinación*	**Area de escana, Resolución del Terreno, Modos**	***Sensores*** **Bandas espectrales**
IKONOS USA	Helio sincrónico 681 km 1-3 days 98.1°	Several incidence angles Multi-band: 4 m (with nominal angle 26°) Panchromatic:1 m (with nominal angle 26°)	Banda 1: 0.45 – 0.52 μm (blue) Banda 2: 0.52 – 0.60 μm (green) Banda 3: 0.63 – 0.69 μm (red) Banda 4: 0.76 – 0.90 μm (near IR) Panchromatic band: 0.45 – 0.90 μm

ACRÓNIMOS

AIRSAR	AIRborne SAR sensor, (J P L)
ASPRS	American Society for Photogrammetry and Remote Sensing
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
CCD	Charge Coupled Device
CCRS	Canadian Centre for Remote Sensing
DGPS	Differential GPS
DLR	German Aerospace Research Establishment
DN	Digital Number
DTM	Digital Terrain Model
EDM	Electronic Distance Measurement
EODM	Electro-Optic Distance Measurement
ERS	European Remote Sensing Satellite
ESA	European Space Agency
ETM	Enhanced Thematic Mapper
GALILEO	European (ESA) Global Positioning Satellite System
GBAS	Ground Based Augmentation System (Reference System for differential satellite positioning)
GCP	Ground Control Point
GIS	Geographic Information System
GLONASS	Global Navigation Satellite System (Russia)
GNSS	Global Navigation Satellite System (GPS + GALILEO + GLONASS)
GPS	Global Positioning System (USA)
HRV	High Resolution Visible
IFOV	Instantaneous Field Of View
IHO	International Hydrographic Organization
IHS	Intensity Hue Saturation
IR	InfraRed
IRS	Indian Remote Sensing satellite
ISPRS	International Society for Photogrammetry and Remote sensing
JERS	Japanese Earth Resources Satellite
JPL	Jet Propulsion Laboratory
KFA 1000	Kosmologisher Fotoapparat with 1000 mm focal length
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
Lat	Latitude
Long	Longitude
LUT	Look-Up Table
MSS	MultiSpectral Scanner
NHO	National Hydrographic Office
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
pp.	Pages
PAN	Panchromatic
ppm	Part per million (1×10^{-6})
RBV	Return Beam Vidicon
RGB	Red Green Blue
RS	Remote Sensing
RSI	RadarSat International
RTK	Real Time Kinematic (Precise GNSS rapid method)
S-44	Special Publication 44 (IHO Standards for Hydrographic Surveying)
SAR	Synthetic Aperture Radar
SBAS	Satellite Based Augmentation System (Reference system for differential satellite positioning)
SPOT	Satellite Pour l-Observation de la Terre (France)

SSMI	Special Sensor Microwave Imager
TM	Thematic Mapper
USFAA	United States Federal Aviation Association
UTM	Universal Transverse Mercator
VIR	Visible and near InfraRed
WAAS	Wide Area Augmentation System
WGS	World Geodetic System
WGS 84	World Geodetic System 1984
XS	Multispectral

REFERENCIAS

(Esta lista intenta ayudar al lector del Capítulo 6 a encontrar más información en versiones impresas o páginas web).

ALBERZ J. KREILING W., (1989).	*"Photogrammetric Guide"*	Wichmann, Karlsruhe (Alemania)
ASPRS ,(1980).	*"Manual of Photogrammetry"*	American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. Bethesda, Maryland, (USA)
ASPRS ,(1983).	*"Manual of Remote Sensing. 2 Volumes"*	American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. Bethesda, Maryland, (USA) The Sheridan Press.
ASPRS ,(1996).	*"Digital Photogrammetry"*	American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. Bethesda, Maryland, (USA)
BOMFORD G. (1980).	*"Geodesy 4th Ed"*	Claredon Press, Oxford (RU).
CHUECA PAZOS Et. Al. (1996).	*"Tratado de Topografía (3 Volumes)"*	Paraninfo, Madrid (España)
Chuvieco E. **(**1995).	*"Fundamentos de Teledetección Espacial"*	Editorial RIALP, Madrid, España, 453 pp.
CNES**, (**2002).	*"HRS puts terrain into perspective"*	SPOT Magazine N°34, 1st semester 2002, pp 10-11.
FEDERAL GEODETIC CONTROL COMMITTEE (1984).	*"Standards and Specification for Geodetic Control Networks"*	NOAA Rockville Maryland (USA)
GDTA**, (**1995).	*"Aspects stéréoscopiques de SPOT, Cahier A2 MNT"*	Les Cahiers Pedagogiques du GDTA, Francia, 93 pp.
GERMAN SPACE AGENCY, (1994).	*"MOMS-02-D2 Data Catalogue"*	DARA, Munich, Alemania.
HOFMANN WELLENHOF Et.Al. (2001).	*"GPS, Theory and Practice. 5th. Ed "*	Springer, Wien (Austria), New York (USA)

IHO (2008).	*"IHO Standards for Hydrographic Surveys. S-44 5th. Ed "*	IHB, Monaco. También hay disponibles versiones en Español y Francés
IHO (1994).	*"Hydrographic Dictionary 5th Ed. S–32"*	IHB, Monaco. También hay disponibles versiones en Español (1997) y Francés (1998).
JOECKEL R., STROBER M. (1995).	*"Elektronische Entfernungs und Richtungsmessung, 3th. Ed",*	Wittwer, Stuttgart (Alemania).
KONECNY, G**.,** (1990).	*"Review of the latest technology in satellite mapping. Interim report, Inter-commission Working Group I/IV on International Mapping and Remote Sensing Satellite Systems of ISPRS, Vol.14"*	Hanover, Alemania, pp. 11-21.
LANGERAAR W. (1984).	*"Surveying and Charting of the Seas"*	Elsevier. Amsterdam (The Netherlands – Países Bajos), Oxford (UK) New York (USA) Tokyo (Japan)
LAURILA S. (1976).	*"Electronic Surveying and Navigation"*	J. Wiley & Sons, New York (USA)
LEICK A. (1995).	*"GPS Satellite Surveying. 2nd. Ed".*	Wiley Chichester, Brisbane. New York (USA) Toronto (Canada) Singapore.
LILLESAND, T.M. and KIEFER, R.W., (1987).	*"Remote sensing and image interpretation, 2nd edition"*	John Wiley and Sons, Inc., New York, 721 p.
MEISENHEIMER D. (1995).	*"Vermessungsinstrumente Aktuell"*	Wittwer, Stuttgart (Alemania)
NASA, (1997).	*"The Remote Sensing Tutorial".*	Goddard Space Flight Centre, NASA Web Production. Written by: Nicholas M. Short, Sr.
OLLIVER F. (1995).	*"Instruments Topographiques"*	Eyrolles, Paris (Francia)
OLIVER C. and S. QUEGAN (1998).	*"Understanding Synthetic Aperture Radar Images"*	Artech House, Norwood, Massachuset (USA)
POHL, C., (1996).	*"Geometric aspects of multi-sensor image fusion for topographic map updating in the humid Tropics"*	ITC Publication Number 39, The Netherlands (Países Bajos), 214 pp.
RANEY, R.K., (1992).	*"Course notes; unpublished notes"*	Canada Centre for Remote Sensing, Ottawa, Canadá
RICHARDUS P.	*"Project Surveying".*	Balkema. The Netherlands (Países

(1977).		Bajos).
SEEBER G. (1993).	*"Satellite Geodesy"*	W. de Gruyter Berlin (Alemania) New York (USA)
SEEBER G. (2003).	*"Satellite Geodesy 2nd. Ed "*	Walter de Gruyter (Berlin - NY)
TORGE W. (2001).	*"Geodesy"*	W. de Gruyter Berlin (Alemania) New York (USA)
TURNBULL D. (2001).	*"The Evolution of an Object - Oriented Geospatial Information System Supporting Digital Nautical Chart Maintenance at the NIMA"*	Bulletins Hydr. Int. Jul. Aug. - Sep; IHO, Monaco
TOUTIN, Th., (1998).	*"Evaluation de la précision géométrique des images de RADARSAT"*	Journal Canadien de télédétection, 23(1):80-88.
TOUTIN, Th., (1997).	*"Single versus stereo ERS-1 SAR imagery for planimetric feature extraction"*	International Journal of Remote Sensing, 18(18):3909-3914.
TOUTIN, Th. and B. RIVARD, (1997).	*"Value-added RADARSAT Products for Geoscientific Applications"*	Canadian Journal of Remote Sensing, 23(1):63-70.
TOUTIN, Th., (1995).	*"Generating DEM from stereo images with a photogrammetric approach: Examples with VIR and SAR data"*	EARSeL Journal Advances in Remote Sensing, 4(2):110-117.
WOLF R., BRINKER R.C. (1994).	*"Elementary Surveying 9th. Ed. "*	Harper Collins College Publishers New York (USA) There is available also a Spanish version "Topografía", Alfaomega, México (1998)

DIRECCIONES URL

PAIS	INSTITUCIÓN	PAGINA WEB
	European Space Agency	http://www.esa.int
	International Society on Photogrammetry and Remote Sensing	http://www.isprs.org
	Fédération Internationale de Géometres	http://www.Fig.net
	International Association of Geodesy	http://www.gfy.ku.dk/iag/
Argentina	Comisión Nacional de Actividades Espaciales	http://www.conae,gov.ar
Austr. – Nueva-Zelanda	Australian - New Zealand Land Information Council	http://www.anzlic.org.au
Alemania	Institute für Erdmessung, Hanover University	http://www.ife.unihannover.de
Alemania	Institute für Angewandte Geodäsie	http://www.gibs.leipzig.ifag
Alemania	Karlsruhe University	http://www.ipfr.bau.verm.uni.karlsruhe.de
Alemania	GPS Information Bulletin Board System	http://www.gibs.leipzig.ifag.de
Alemania	Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt	http://www.dlr.de
Australia	Commonwealth Scientific & Industrial Research Organization	http://www.csiro.au
Australia	Surveying and Land Information Group	http://www.auslig.gov.au
Bolivia	Centro de Levantamientos Aeroespaciales y SIG	http://www.clas.unmss.edu.bo
Brazil	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais	http://www.inpe.br
Canadá	Centre For Remote Sensing	http://www.ccrs.nrcan.ca
Canadá	Radarsat International	http://www.rsi.ca
Canadá	Geodetic Survey	http://www.geod.emr.ca
Chile	Agencia Chilena del Espacio	http://www.agenciaespacial.cl
China	China Academy of Space Technology	http://fas.org/nuke/guide/china/contractor/cast.htm
España	Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial	http://www.inta.es
España	Org. for Cartography and Geodesy	http://www.cartesia.org
España	Valencia University	http://www.miranda.tel.uva.es
Francia	Centre National d'Etudes Spatiales	http://www.cnes

PAIS	INSTITUCIÓN	PAGINA WEB
Francia	Group pour le Développement de la Téledetection Aerospatiale	http://www.gdta.fr
India	Indian Space Research Organization	http://www.isro.org
Italia	Agenzia Spaziale Italiana	http://www.asi.it
Japón	National Space Development Agency	http://www.nasda.go.jp
Rusia	Russian Space Science Internet	http://www.rssi.ru
RU	Nottingham University	http://www.ccc.nottingham.ac.uk
RU	British National Space Centre	http://www.bnsc.uk
Suisa	Astronomical Institute Berne University	http://www.aiub.unike.ch
USA	Ohio State University (Centre for Mapping)	http://www.cfm.ohio.state
USA	Maine University	http://www.spatial.maine.edu
USA	Geological Survey (EROS)	http://edc.usgs.gov
USA	Earth Observation Handbook	http://www.eohandbook.com
USA	Goddard Space Flight Centre (NASA)	http://www.gsfc.nasa.gov
USA	Nat. Ocean. And Atm. Adm. Central Library	http://www.lib.noaa
USA	Nat. Aeronautic and Space Adm.	http://www.nasa.gov
USA	National Oceanic and Atmospheric Adm.	http://www.noaa.gov
USA	Geological Survey	http://www.usgs.gov
USA	Professional Survey (review)	http://www.profsurvey.com
USA	Department of Defence	http://www.defenselink.mil
USA	National Geodetic Survey	http://www.ngs.noaa.gov
USA	Institute of Navigation	http://www.ion.org
USA	Jet Propulsion Laboratory	http://www.jpl.nasa.gov
USA	Naval Observatory	http://www.usno.navy.mil
USA	GPS Interface Control Document	http://www.navcen.usc.mil/gps
USA	Interagency GPS Executive Board	http://www.igeb.gov
USA	Texas University	http://www.host.cc.utean.edu

PAIS	INSTITUCIÓN	PAGINA WEB
USA	GPS Nav. Inf.	http://www.navan.uscg.mil/gps
USA	California - Los Angeles University	http://www.cla.esc.edu
USA	American Society for Photogr. and R.S.	http://www.asprs.org
USA	National Imagery and Mapping Agency	http://www.164.214.2.59
USA	GPS issues	http://www.206.65.196

BIBLIOGRAFÍA

(Fuentes de información editadas o digitales utilizadas en la preparación del capítulo 6).

ASPRS, (1983).	*"Manual of Remote Sensing"*	American Society of Photogrammetry and Remote Sensing. 2 volumes. The Sheridan Press, USA, 2420 pp.
CHUVIECO E. (1995).	*"Fundamentos de Teledetección Espacial"*	Editorial RIALP, Madrid, España, 453 pp.
CURAN P.J. (1985).	*"Principles of remote sensing"*	Longman, London, RU.
CURLANDER J.C. and R.N. MCDONOUGH, (1991).	*"Synthetic Aperture Radar Systems and Signal Processing"*	John Wiley and Sons, Inc., Toronto
DRURY S.A., (1990).	*"A Guide to Remote Sensing"*	Oxford Science Publications, Oxford, USA, 199 pp.
ELACHI C. and F.T. ULABY, (1990).	*"Radar Polarimetry for Geoscience Applications"*	Artech House, Boston
ELACHI C. (1988).	*"Spaceborne Radar Remote Sensing: Applications and Techniques"*	IEEE Press, New York
FAO, (1990).	*"Remote sensing applications to land resources"*	FAO RSC Series 54, Rome, Italia.
FITCH J.P. (1988).	*"Synthetic Aperture Radar"*	Springer-Verlag, New York
HENDERSON F.M. and A.J. LEWIS, EDS. (1998).	*"Principles and Applications of Imaging Radar, Manual of Remote Sensing, Third Edition, Volume 2"*	John Wiley & Sons, Inc., Toronto
KNEISSL M. (1956).	*"Handbuch der Vermessungskunde Band III (Hohenmessung, Tachymetrie)"*	Metzer, Stuttgart (Alemania)
KNEISSL M. (1958).	*"Handbuch der Vermessungskunde Band IV (Mathematische Geodäsie)"*	Metzer, Stuttgart (Alemania)
KNEISSL M. (1963).	*"Handbuch der Vermessungskunde Band II (Feld und Land Messung, Abstekungsarbeiten)"*	Metzer, Stuttgart (Alemania)
MAGUIRE D. et al (1991).	*Geographic Information System Principles and Applications"*	John Wiley & Sons N.Y.

NASA, (1997).	*"The Remote Sensing Tutorial"*	Goddard Space Flight Centre, NASA Web Production. Written by: Nicholas M. Short, Sr.
OLIVER C. and S. QUEGAN (1998).	*"Understanding Synthetic Aperture Radar Images"*	Artech House, Norwood, Mass.
RINNER K., BENZ F. (1966)	*"Handbuch der Vermessungskunde Band VI (Die Entfernunsmessung nit Elektromagnetische Wellen und ihre geodätische Anwendung)"*	Metzer, Stuttgart (Alemania)
RINNER K., BENZ F. (1971).	*"Handbuch der Vermessungskunde Band III a,3 Volumes (Photogrammetrie)"*	Metzer, Stuttgart (Alemania)
RUSSELL - WOLF (1984).	*"Elementary Surveying"*	Harper and Row Publishers, New York (USA)

Los siguientes textos de la LISTA DE REFERENCIA también fueron utilizados

ALBERZ J. KREILING W (1989)
ASPRS (1996)
BOMFORD G. (1980)
CHUECA PAZOS Et Al (1996)
HOFMANN WELLENHOF Et Al (2001)
IHO (1998)
IHO (1994)
LANGERAAR W. (1984)
MEISENHEIMER D. (1995)
SEEBER G. (1993)
TORGE W. (2001)
WOLF R, BRINKER R.C. (1994)

CAPÍTULO 6 – ANEXO A
ALGORITMOS PARA LA REPRESENTACIÓN MERCATOR TRANSVERSAL

1. PRESENTACIÓN

La Representación Mercator Transversal, también denominada Gauss – Krüger o Polinomial, debido a su frecuente expresión en series de potencias (ver capítulo 2, puntos 2.5.4 y 2.5.5) es un medio útil para transferir las coordenadas geodésicas (latitud, longitud) al plano. El uso de coordenadas de plano (x e y o N y E) con pequeñas correcciones relacionadas a las distancias medidas y a los ángulos es apropiada para los propósitos de levantamiento topográfico y también para algunos levantamientos hidrográficos detallados.

2. GEODESIA GEOMÉTRICA Y CONCEPTOS CARTOGRÁFICOS MATEMÁTICOS

Antes de estudiar estos conceptos, el lector debe estar familiarizado con el capítulo 2: 2.4 y 2.5, con atención particular a los sub párrafos 2.5.4 y 2.5.5.

Tomando el elipsoide de rotación de la Tierra como superficie de referencia, con **"a"** como semieje mayor (ecuatorial) y "b" como semieje menor (polar), es posible definir:

$$f = \frac{a - b}{a}$$

(aplanamiento, también descrito como "a" en el capítulo 2: 2.2.3)

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$$

(primera excentricidad, también descrita como "**e**" en el capítulo 2: 2.1.1))

$$\varepsilon' = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{b}$$

(2da excentricidad)

Con procedimientos algebraicos elementales es factible verificar las siguientes relaciones:

$$f(2 - f) = \varepsilon^2$$

$$(1 - f)^2 = 1 - \varepsilon^2$$

Con las constantes descritas, el posible calcular los radios de curvatura y los arcos de líneas sobre la superficie:

$$M = a(1-f)^2\left[1-f(2-f)\text{sen}^2\varphi\right]^{-3/2} = a(1-\varepsilon^2)\left[1-\varepsilon^2\text{sen}^2\varphi\right]^{-3/2}$$

$$N = a\left[1-f(2-f)\text{sen}^2\varphi\right]^{-1/2} = a\left[1-\varepsilon^2\text{sen}^2\varphi\right]^{-1/2}$$

$$r = N\cos\varphi$$

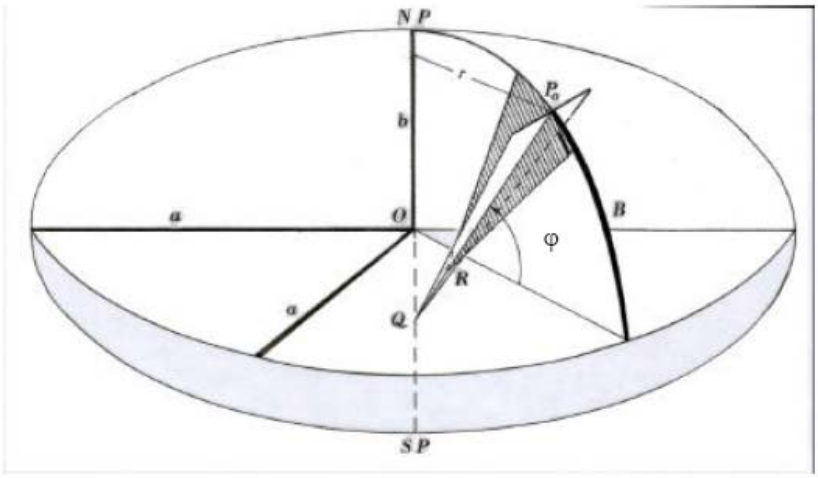
$$\Delta p_{12} = r(\lambda_2 - \lambda_1)$$

$$B = \int_0^{\varphi} M d\varphi = \alpha\varphi + \beta\text{sen}2\varphi + \gamma\text{sen}4\varphi + \delta\text{sen}6\varphi + ...$$

Donde (ver Fig. 6A.1):

M – Radio de la curvatura del meridiano
N – Radio de la curvatura de la sección normal (al meridiano)
R – Radio de curvatura paralelo
φ – Latitud (elipsoidal) geodésica
Δp_{12} – Arco de paralelo entre λ_1 y λ_2 a un latitud φ, (λ_2 - $\lambda_{1)}$ expresado en radianes.
B – Los meridianos están del Ecuador a la latitud φ (para el primer período = αφ (alpha, phi), φ (phi) debe expresarse en radianes)

$\alpha = a\,(1 - 1/4\,\varepsilon^2 - 3/64\,\varepsilon^4 - 5/256\,\varepsilon^6) = a\,(1-f)^2\,(1 + 3/2\,f + 33/16\,f^2 + 85/32\,f^3)$
$\beta = -a\,(3/8\,\varepsilon^2 + 3/32\,\varepsilon^4 + 45/1024\,\varepsilon^6) = -a/2(1-f)^2\,(3/2\,f + 3\,f^2 + 285/64 f^3)$
$\gamma = a\,(5/256\,\varepsilon^4 + 45/1024\,\varepsilon^6) = a/4(1-f)^2\,(15/16\,f^2 + 75/32\,f^3)$
$\delta = -a\,(35/3072\,\varepsilon^6) = -a/6(1-f)^2\,(35/64\,f^3)$



Po O = N
Po R = M
N ≥ M

Fig. 6A.1

La siguiente tabla contiene las constantes descritas para dos elipsoides comúnmente usados con valores Q (arco de meridianos, B, del ecuador al polo) agregados

$$Q = \int_0^{\pi/2} M d\varphi$$

ELIPSOIDE	MADRID 1924	WGS 84
A	6378388 m	6378137 m
F	1/297	1/298.2572236
$\varepsilon^2 = f(2 - f)$	0.0067226722	0.0066943800
α	6367654.500 m	6367449.146 m
β	-16107.035 m	-16038.509 m
γ	+ 16.976 m	+ 16.833 m
δ	- 0.022 m	- 0.022 m
Q	10002288.30 m	10001965.73 m

La forma matemática para generar una representación de un elipsoide en un plano es:

$$x = x(\varphi, \lambda)$$
$$y = y(\varphi, \lambda)$$

Y estas formulas suministran las propiedades para esta transformación. Para una representación conforme u ortomórfica es necesario remplazar la latitud con una nueva variable llamada “latitud isométrica” o “latitudes crecientes”.

$$q = \int_0^{\varphi} \frac{M}{N \cos \varphi} d\varphi$$

El origen de esta función es la representación MERCATOR del elipsoide de la tierra en el plano, comenzando por un cilindro circular cuyo eje de orientación coincide con el eje semi – menor “**b**” del elipse de rotación y la tangente a la superficie sobre el Ecuador respectivo (ver Fig 6A.2)

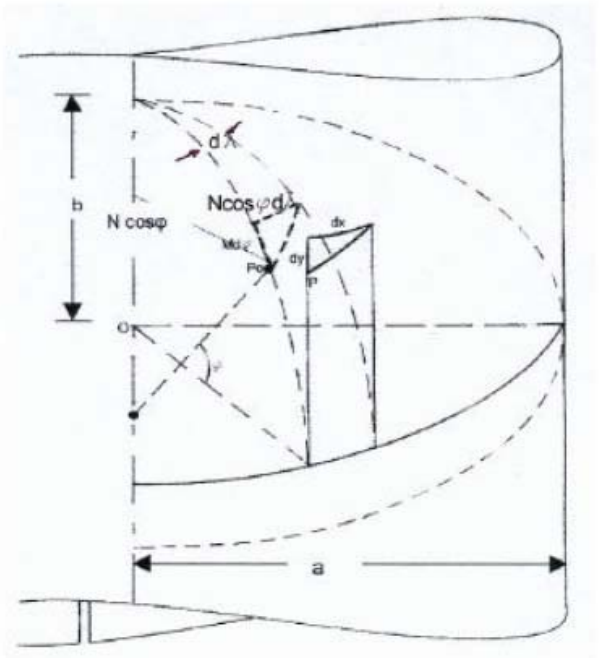


Fig. 6A.2

Tomando el eje "**y**" como la proyección del meridiano de origen de longitudes ($\lambda = 0$) en el cilindro, con y = 0 para $\varphi = 0$ y el eje "**x**" representando el ecuador, con x = 0 para $\lambda = 0$, es posible mostrar:

$$\mathbf{X = a\lambda}$$

(isometría en la línea de la tangente = ecuador) pero, en este caso, la "**y**" debe satisfacer la siguiente relación diferencial (ver Fig. 6A.2)

$$\frac{dy}{Md\varphi} = \frac{dx}{N\cos\varphi d\lambda} = m$$

Donde **m** coincide con $\mathbf{m_1}$ dado en el punto 2.4, capítulo 2. También:

$$\frac{dy}{Md\varphi} = \frac{ad\lambda}{N\cos\varphi d\lambda} = \frac{a}{N\cos\varphi} = m$$

Y

$$y = a\int_0^{\varphi} \frac{M}{N\cos\varphi}\, d\varphi = aq$$

Solucionando la integral es posible expresar:

$$q = \ln\left[\left(\frac{1-\varepsilon \mathbf{sen}\,\varphi}{1+\varepsilon\,\mathbf{sen}\varphi}\right)^{\varepsilon/2} tg\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right)\right]$$

La Figura 6A.3 muestra una representación parcial de la red de meridianos y paralelos y también de una línea geodésica (la distancia mínima de recorrido sobre la superficie elipsoidal) dentro de los puntos A y B para esta transformación ($x = a\lambda$, $y = aq$).

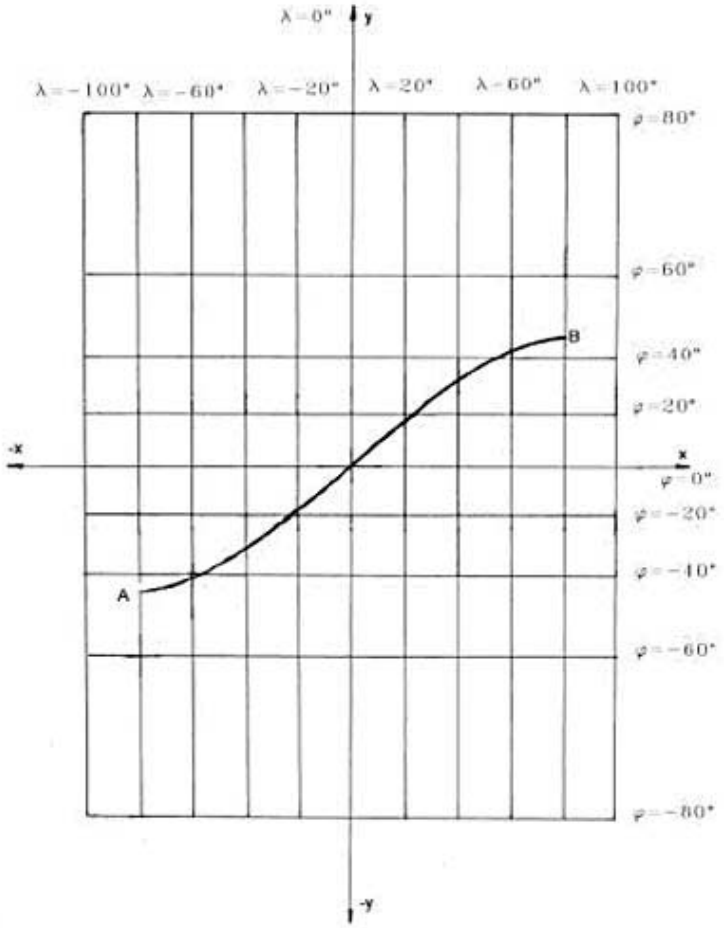


Fig. 6A.3

Los algoritmos basados en estos principios, pero con otras intensiones, son útiles para el cartografiado náutico, pero para deliberaciones posteriores en este anexo es suficiente recordar que:

$$x = a\lambda$$

$$y = aq$$

$$q = \int_0^{\varphi} \frac{M}{N \cos \varphi} d\varphi$$

Es una transformación conforme del elipsoide al plano, en conclusión los principios de las funciones analíticas son aplicables:

$$\mathbf{y + ix = f(q + i\,\lambda)} \qquad \mathbf{(2.1)}$$

(tomando a y al Norte y x al Este) donde $i = (-1)^{1/2}$ y deben satisfacerse las condiciones Cauchy – Riemann :

$$\frac{\partial y}{\partial q} = \frac{\partial x}{\partial \lambda}$$

$$\frac{\partial x}{\partial q} = -\frac{\partial y}{\partial \lambda}$$

Esto es posible ya que **q, λ** y **x** son dos pares de coordenadas planas.

Para la mejor comprensión de este asunto, se recomienda consultar un texto de matemática con variables complejas y su aplicación para la transformación conforme entre dos dominios planos.

La relación general de 2.1, las condiciones Cauchy – Riemann y las siguientes consideraciones son válidas para todas las transformaciones conformes (no sólo para las expresiones Mercator descritas).

Otras formulas matemáticas para la representación conformal genérica vienen de las expresiones diferenciales de $x = x(\varphi, \lambda)$ y $y = y(\varphi,\lambda)$:

$$dx = \left(\frac{\partial x}{\partial \varphi}\right) d\varphi + \left(\frac{\partial x}{\lambda}\right) d\lambda$$

$$dy = \left(\frac{\partial y}{\partial \varphi}\right) d\varphi + \left(\frac{\partial y}{\partial \lambda}\right) d\lambda$$

Cuando φ = constante (arco paralelo), el cuadrado de la distancia diferencial sobre el plano $dx^2 + dy^2$, con el elemento correspondiente sobre el elipsoide ($N \cos\varphi \, d\lambda$) dan el cuadrado de la razón de deformación lineal:

$$m^2 = \frac{\left(\frac{\partial x}{\partial \lambda}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial \lambda}\right)^2}{N^2 \cos^2 \varphi}$$

Y también para λ = constante y el elemento diferencial de arco de meridiano M df, resulta:

$$m^2 = \frac{\left(\frac{\partial x}{\partial \varphi}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial \varphi}\right)^2}{M^2}$$

También es válido:

$$m^2 = \frac{\left(\frac{\partial x}{\partial \varphi}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial \varphi}\right)^2}{M^2} = \frac{\left(\frac{\partial x}{\partial \lambda}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial \lambda}\right)^2}{N^2 \cos^2 \varphi} \qquad \textbf{(2.2)}$$

Surgiendo de las mismas expresiones diferenciales y tomando las relaciones:

$\frac{dx}{dy}$ (para φ = constante)

$\frac{dy}{dx}$ (para λ = constante)

Es posible obtener la formula de convergencia meridiana "γ" (γ es el ángulo entre el eje cartesiano y las líneas de los respectivos meridianos y paralelos – ver Fig. 6A.4).

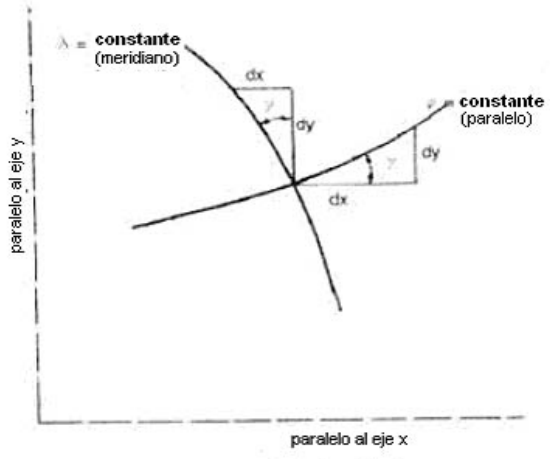


Fig. 6A.4

En estas formulas el signo "γ" (o tgy) no está considerado.

$$\operatorname{tg}\gamma = \frac{\left(\frac{\partial x}{\partial \varphi}\right)}{\left(\frac{\partial y}{\partial \varphi}\right)} = \frac{\left(\frac{\partial y}{\partial \lambda}\right)}{\left(\frac{\partial x}{\partial \lambda}\right)} \qquad \textbf{(2.3)}$$

3. FÓRMULAS GRAUSS-KRÜGER

Para comenzar con el desarrollo de la representación conforme con un mínimo de deformación mínima sobre la franja NORTE – SUR, se tomará un cilindro elíptico tangente a un meridiano central (ver Fig 6A.5).

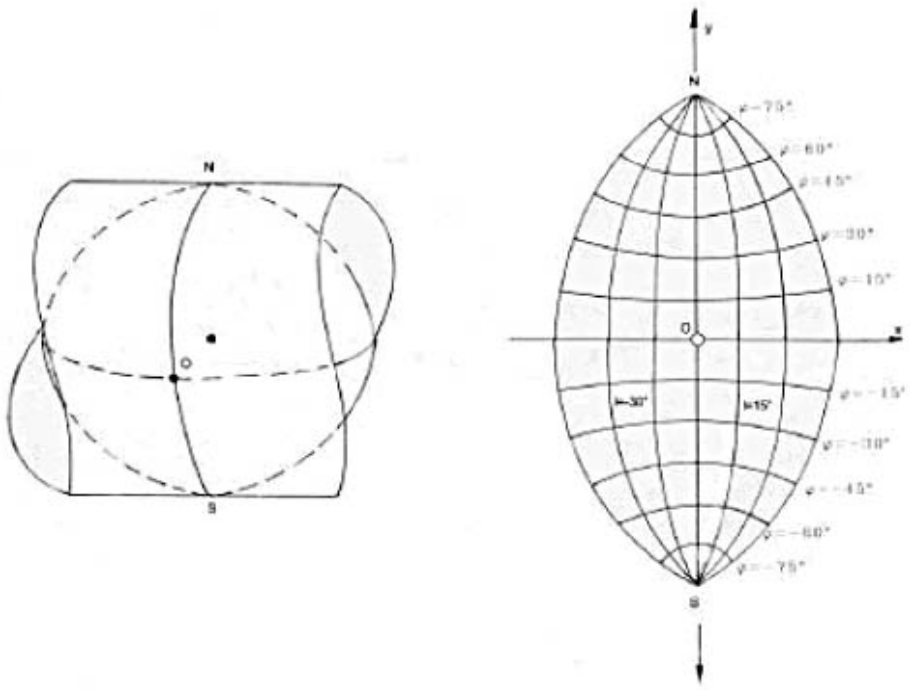


Fig. 6A.5

Una representación más extensa de los meridianos y de la grilla de los paralelos es dada en la Fig 2.6 (capítulo 2 punto 2.5.4), pero para las consideraciones siguientes partimos de la Fig. 6.A.5 anterior.

Para este caso, la formula 2.1 se transformará como sigue:

$$\mathbf{f(q+il) = y + ix}$$

Donde **l** es la longitud referenciada al meridiano central:

$$\mathbf{l = \lambda - \lambda_0} \qquad \textbf{(2.4)}$$

Adoptando un desarrollo de serie Taylor de los aspectos de función:

$$f(q + il) = f(q) + \frac{df}{dq}(il) + \frac{d^2f}{dq^2}\frac{(il)^2}{2!} + \frac{d^3f}{dq^3}\frac{(il)^3}{3!} + \frac{d^4f}{dq^4}\frac{(il)^4}{4!} + \ldots$$

Y al separar las partes reales e imaginarias se produce las expresiones genéricas para la representación conformal de la banda descrita

$$x = f(q) \qquad -\left(\frac{d^2f}{dq^2}\right)\frac{l^2}{2} \qquad +\left(\frac{d^4f}{dq^4}\right)\frac{l^4}{24} + \ldots$$

$$y = \qquad \left(\frac{df}{dq}\right)\cdot l \qquad +\left(\frac{d^3f}{dq^3}\right)\frac{l^3}{6} + \ldots$$

Tomando la equidistancia a lo largo del meridiano central (1=0) es correcto tomar:

$$y(l = 0) = f(q) = B = \int_0^{\varphi} M d\varphi$$

Y luego:

$$\frac{df}{d\varphi} = M$$

También, recordando que:

$$q = \int_0^{\varphi} \frac{M}{N\cos\varphi}\, d\varphi$$

Es posible obtener:

$$\frac{d\varphi}{dq} = \frac{N\cos\varphi}{M}$$

Y también:

$$\left(\frac{df}{dq}\right) = \left(\frac{df}{d\varphi}\right)\left(\frac{d\varphi}{dq}\right) = N\cos\varphi$$

A partir de esos principios es posible obtener las derivadas siguientes y surgen las fórmulas de transformación:

$$y = B + \frac{N sen\varphi \cos\varphi}{2} l^2 + \frac{N sen\varphi \cos^3\varphi}{24}\left(5 - tg^2\varphi + 9\eta^2 + 4\eta^4\right)\cdot l^2 + ...$$

$$x = N\cos\varphi l + \frac{N\cos^3\varphi}{6}\left(1 - tg^2\varphi + \eta^2\right)\cdot l^3 + ...$$

(2.5)

Donde **B** y **N** son dados en las formulas al principio de 2 (en el Anexo) y η^2 es:

$$\eta^2 = \varepsilon'^2 \cos^2\varphi = \frac{f(2-f)}{1-f(2-f)}\cos^2\varphi$$

l es dada por (2.4) y para su aplicación en (2.5) se debe expresar en radianes.

Con la consideración de (2.2), (2.3) y (2.4) viene también:

$$\gamma = sen\varphi l + ...$$

$$m = 1 + \frac{\cos^2\varphi\left(1+\eta^2\right)}{2} l^2 + ... = 1 + \frac{x^2}{2R^2} + ...$$

(2.6)

Donde:

$$R = \sqrt{MN} = \frac{a(1-f)}{\left[1 - f(2-f)\,\mathbf{sen}^2\varphi\right]}$$

(**R** es el mejor radio esférico apropiado para el elipsoide en latitud φ)

Para el cálculo inverso (para obtener **φ**, **λ** surgiendo de **x**, **y**) las siguientes formulas son útiles:

$$\varphi = \varphi_1 - \frac{tg^2\varphi_1}{2}\left(\frac{x^2}{M_1 N_1}\right) + \frac{tg\,\varphi_1}{24}\left(5 + 3\,tg^2\varphi_1 + \eta_1^2 - 9\eta_1^2\,tg^2\varphi_1\right)\left(\frac{x^4}{M_1 N_1^3}\right) + ...$$

(2.7)

$$l = \frac{x}{N_1\cos^2\varphi_1} - \left(\frac{1 + 2\,tg^2\varphi_1 + \eta_1^2}{6\cos\varphi_1}\right)\left(\frac{x}{N_1}\right)^3 + ...$$

$$\lambda = \lambda_0 + l$$

Donde φ_1 es la latitud que hizo posible B (φ) = y

La representación con estos algoritmos fue aplicada por GAUSS al principio del siglo XIX para el reinado de HANNOVER. 100 años después de esto, el Dr. L KRÜGER hizo un análisis exploratorio y la extensión de las expresiones alicando varias fajas a Alemania. También se extendió un criterio similar para otros países.

Con el cilindro tangente, donde m = 1 por el meridiano central de la banda, el ancho de la zona debe ser menor a 200 km en cada lado ya que en este caso la razón de deformación lineal ($m = 1+ x^2/2R^2 + \ldots$) sobrepasa el valor 1.0005, o sea 0.5 m en 1 km.

Con esta limitante, el uso de estas coordenadas de plano es muy conveniente para los propósitos de cartografiado topográfico y también para muchos cálculos de redes de control. Para mejores resultados, se debe hacer una corrección en los elementos de medida (ver el punto 2.2.5 en el capítulo 6).

4. REPRESENTACIONES GENERALES DE POLINOMIALES MERCATOR (Ver 2.5.4 y 2.5 en el capítulo 2)

La representación de Gauss-Krüger, luego de la 2da Guerra Mundial, también fue llamada POLINOMIAL MERCATOR y se utilizo en muchos países. Por esta razón, muchas constantes y coeficientes fueron adoptadas; para **N** (coordenada Norte) y **E** (coordenada Este) son válidas.

$$N = Y_0 + Ky$$

$$E = X_0 + Kx$$

Y en consecuencia **(2.8)**

$$m = K\left(1 + \frac{x^2}{2R^2} + \ldots\right)$$

K es un coeficiente (bajo 1) para reducir el coeficiente de deformación lineal ″m ″ y permite la extensión de ancho de la faja (por ejemplo 300 Km. a cada lado del meridiano central), particularmente para el cartografiado topográfico en escalas menores a 1:100000 (1:200000 …)

Y_0 : es llamado el NORTE FALSO
X_0 : FALSO ESTE
K: FACTOR ESCALA EN EL MERIDIANO CENTRAL

La aplicación del coeficiente **K** hecha sobre el meridiano central, aparece como una deformación lineal negativa, ej. Para K= 0.9998, las distancias elipsoidales contrae 20cm/km y las líneas isométricas son transferidas en dos líneas paralelas a la imagen meridiana descrita. La superficie tangente es remplazada por un cilindro elíptico secante.

Para la representación Mercator Tranversa Universal (UTM) los siguientes valores son adoptados:

K = 0.9996
Y_0 = 0 o 10000000 (Para los hemisferios Norte y Sur respectivamente))
X_0= 500000 para cada meridiano central

Y las zonas son distribuidas a intervalos de 6º de longitud, de acuerdo a la siguiente tabla:

ZONA (Z)	MERIDIANO CENTRAL (LONGITUD)	DISTANCIA DE APLICACIÓN (LONGITUD)
31	3°	0° to 6
32	9°	6° to 12°
.	.	.
.	.	.
.	.	.
50	117°	114° to 120°
.	.	.
.	.	.
.	.	.
60	177°	174° to 180°
1	183° (-177°)	180° to 186° (-174°)
.	.	.
.	.	.
.	.	.
20	297°(-63°)	294° (-66°)to 300° (-60°)
.	.	.
.	.	.
.	.	.
29	351° (-9°)	348° (-12°) to 354° (-6°)
30	357° (-3°)	354° (-6°) to 0°

El número de zona (Z) puede ser calculado comenzando por la longitud del meridiano central con la siguiente formula:

$$Z = 30 + \frac{CM + 3}{6}$$

(Hemisferio Este)

$$Z = \frac{183 + CM}{6}$$

(Hemisferio Oeste)

En la segunda fórmula (Oeste), el valor negativo de la longitud (del meridiano central) debe ser tomado.

Existen muchos programas de software para solucionar el cálculo de la transformación Polinomial Mercator, con los algoritmos descritos en el punto 3 y 4 de este anexo, u otro modo alternativo. Sin embargo, es preferible tener un buen conocimiento del tema de la naturaleza de la razón de deformación lineal (m).

En muchos casos es apropiado relacionar el esquema TRANSVERSAL MERCATOR adoptado por la representación del país pero en casos particulares hay posibilidades de seleccionar el mejor procedimiento de representación plana. Para este fin, es importante recordar que la representación Polinomial Mercator es particularmente apropiada para la aplicación en la banda Norte – Sur, donde el ancho Oeste – Este es menor a 400 km (200 km a cada lado del meridiano central).

Luego de la selección del meridiano central, tomado en cuenta la reducción de cualquier distancia para el área seleccionada a esta línea, existe aún la posibilidad de escoger un coeficiente **K** (ver formulas en el 2.8) para una mejor distribución del módulo de deformación lineal en todo el dominio de representación.

Para propósitos topográficos, incluyendo la delineación costera, el posicionamiento de las ayudas a la navegación, las descripciones de rasgos en la costa y levantamientos especiales para puertos, es preferible un coeficiente de deformación lineal menor que 0.2 m/km, esto significa que ′m′ resulte entre 0.9998 y 1.0002.

CAPÍTULO 6 - ANEXO B
(EJEMPLOS DE EQUIPO COMERCIAL)

1. INTRODUCCIÓN

En este anexo, está la lista de direcciones, números telefónicos y sitios web de algunos de los proveedores de equipos utilizados en levantamientos topográficos o remotos mediante procesado de imágenes. Sin embargo, el análisis de los manuales comerciales o de las páginas web es la forma recomendada para mantener al día la tecnología disponible, la información de precios y lanzamientos de productos en el futuro.

En los sistemas de levantamiento de terreno, existe una amplia diversidad de estaciones totales disponibles (una combinación de medición teodolito, de distancia de archivo de datos y de cálculo), también de niveles de horizontalización automática con lectura digital en miras con código de barra y programas de procesado. En la adquisición de los datos fotogramétricos existe una gran variedad de cámaras, análogas y digitales y las que incluyen posicionamiento GNSS, películas escáneres, estereoplotters, estaciones de imagen y programas específicos para el procesado digital y la elaboración ortofoto. El medio Geoespacial da muchas posibilidades para la elaboración de productos y para acceder las imágenes y los productos de imagen a través de los servidores WEB

2. DIRECCIONES Y PÁGINAS WEB

A continuación hay una lista de compañías o instituciones que proveen equipo, productos y servicios relacionados con los temas cubiertos en el CAPÍTULO 6, se intenta que sea exhaustiva y se espera que en las futuras versiones de este manual se pueda crear un mejor directorio.

NOMBRE DE LA INSTITUCION	EQUIPO, PRODUCTOS O SERVICIOS	DIRECCIÓN/PAIS	SITIO WEB O E-MAIL
AGFA GEVAERT	Photogrammetric Films	B-2640 Mortsel BELGIUM	www.agfa.com
ANEBA, Geoinformatica	Topographic software (CARTOMAP)	Nicaragua 48. 2°, 6° 08029 - Barcelona SPAIN	www.aneba.com
ASAHI PRECISION	Theodolites, Levels, Total Stations (Pentax)	2-5-2 Higashi Oizumi Nerima-ku, Tokyo JAPAN	www.pentax.co.jp
CLARK LABS	Cartographic Software, GIS (IDRISI)	Clark University 950 Main Street Worcester, MA 01610-1477 USA	http://www.clarklabs.org
EARTH RESOURCE MAPPING (ERMAPPER)	imagery products and software for GIS database	4370 La Jolla Village Drive suite 900 San Diego CA USA	www.ermapper.com www.earthetc.com
ERDAS	Images Processing software	USA	www.esdas.com
ESRI	GIS (ArcInfo, ArcView)	USA	www.esri.com info@esri.com

NOMBRE DE LA INSTITUCION	EQUIPO, PRODUCTOS O SERVICIOS	DIRECCIÓN/PAIS	SITIO WEB O E-MAIL
EURIMAGE	Imagery Products	Viale e. D'Onofrio 212, 00155 Rome, Italy	
GARMIN Int.	GPS Navigators	1200E 151 st., Street Olathe, KS 66062 – USA	www.garmin.com
GEOMATECH	Geomatics, GIS and cartography services and assistance	2, rue Philippe Lebon, BP 102, 44612, Saint Nazaire, FRANCE	geomatech@wanadoo.fr
GODDARD SPACE FLIGHT CENTER	Remote Sensing Assistance	USA	http://www.gsfc.nasa-gov
Hewlett-Packard	Hardware	USA	www.hp.com
Institute Cartografic de Catalunya	Cartographic, geomatics, photogrammetric and remote sensing services	Parc de Montjuic s/n, 08038 Barcelona, España	www.icc.es
INTERGRAPH CORPORATION	Soft/Hardware and images for Cartographic processing	P.O. Box 6695 Mailstop MD IW17A2 Huntsville Al 35894-6695 USA	http://imgs.intergraph.com www.intergraph.com
ISM Europe S.A.	Photogrammetric software and hardware, and services.	Passeig de Fabra i Piug 46, 08030, Barcelona, ESPAÑA	sales@ismeurope.com www.ismeurope.com
ITC	Photogrammetric and Cartographic assistance	Hengelostraat 99 P.O BOX 6 THE NETHERLANDS	www.itc.nl ilwis@itc.nl
KODAK, GR-OUPE ALTA	Films for Photogrammetry GIS, Cartography, Remote processing	Hant Monts Inc 3645, Boulevard Sainte-Anne Beauport (Quebec) CANADA G1E3L1	www.kodak.com www.mb-gepair.com www.groupealta.com
LEICA GEOSISTEMS AC	Total Stations Levels, Theodolites, GNSS, Photogramm. Cameras, Stereo plotters, Scanners	CH.9425 Heerbrugg SWITZERLAND	www.leica-geosistems.com
MAPINFO	Software for Cartography, Photogrammetry and GIS	USA	www.mapinfo.com
MicroImage, Inc	Software, Image processing TNT MIPS software	11th. Floor, The Sharp Tower 206 south 13th street Lincoln. NE 68508-2010 USA	www.microimages.com
OMNISTAR, INC.	Worldwide (satellite based) DGPS Service	8200 Westglen Dr. 77063-Houston, TX USA	www.omnistar.com
PCI GEOMATICS	Software for cartography and GIS	50 west Wilmon Street, Richmond Hill, Ontario CANADA L4B1M5	www.pci.on.ca sales@pci.on.ca

NOMBRE DE LA INSTITUCION	EQUIPO, PRODUCTOS O SERVICIOS	DIRECCIÓN/PAIS	SITIO WEB O E-MAIL
P.GEERDERS Consultancy	Marine and coastal remote sensing applications services	Kobaltpad 18, 3402 JL, Ijsselstein, THE NETHERLANDS	pgcons@wxs.nl plaza.wxs.nl/pgconsult/
RADARSAT International	Images and Image Products.	CANADA	www.rsi.ca
RESEARCH SYSTEMS	ENVI Software	USA	www.rsinc.com
SITEM S.L.	Photography and satellite image processing, Digital Elevation Models cartography	Aragó 141-143, 08015 Barcelona, ESPAÑA	www.sitem-consulting.com
SOKKIA CO.LTD.	Total Stations Level, Theodolites	20-28, ASAHICHO 3-C HOME, MACHIDA,TOKIO,194-0023 JAPAN	www.sokkia.co.jp
SPOT Image	Remote Sensing Images, Products, etc.	FRANCE	http://www.spotimage.com
THALES NAVIGATION	GNSS (ASHTECHMAGUELLAN)	471 El Camino Real Santa Clara, CA 950050 – USA	www.ashtech.com
TRIMBLE NAVIGATION	GNSS, Total Stations, Theodolites, Levels, geodetic and topo-cartographic software	645 North Mary Ave. Sunnyvale, CA 94088-3642 USA	www.trimble.com
XYZ Sistemas Industriales S.A.	Cartographic and data base handling for their use with Internet Mapper application	Av. Infantes 105, 39005 Santander, Cantabria. ESPAÑA	www.imapper.com
Z/I Imaging Corporation	Cameras, Scanners, Stereo-plotters, GIS	301 Chochran Road, Suite 9 Huntsville AL USA 35824	www.ziimaging.com

———————

CAPÍTULO 7
PRÁCTICA HIDROGRÁFICA

1. INTRODUCCIÓN

La ejecución de una operación de levantamiento, desde su inicio hasta la entrega final de los resultados, es un proceso continuo y todas sus partes deben ser llevadas a cabo metodológica y meticulosamente si se quiere aprovechar todo su valor. Los datos recogidos de la forma más precisa y cuidadosa se perderán si no se procesan con cautela y se cotejan y describen en una forma clara y entendible.

Toda la información debe reunirse, validarse, revisarse y presentarse de una manera lógica y uniforme, usando términos claros, no ambiguos, de tal manera que puedan ser recuperados y entendidos de manera inmediata después del levantamiento y en el futuro.

El uso de sistemas informáticos sofisticados y su instrumentación en todas las áreas no ha disminuido la responsabilidad de quien realiza el sondeo. La necesidad de un manejo riguroso de la calidad es tan esencial ahora como en el pasado, pero se hace más difícil por el volumen cada vez más creciente y la complejidad de los datos recogidos. El hidrógrafo debe entender los principios del equipo que controla, ser meticuloso en asegurar que cualquier ingreso de datos sea completamente correcto y examine cuidadosamente el resultado de los datos antes de pasar a la siguiente etapa. Sólo por estos medios los datos presentados serán de la máxima calidad y podrán satisfacer sus necesidades hasta que la labor pueda repetirse dentro de varias décadas o siglos.

No existe substituto para la experiencia práctica donde el conocimiento teórico puede convertirse en habilidades prácticas; el tiempo dedicado en el campo a la recolección de datos bajo la guía de un hidrógrafo experimentado resaltará muchas dificultades y los problemas complejos que necesitan ser superados para asegurar que el producto final cumpla con el requerimiento inicial. El uso y las aplicaciones, en las cuales se pueden aplicar mejor los equipos altamente sofisticados, sólo pueden aprenderse mientras se involucren en las tareas prácticas de un estudio hidrográfico.

Los procesos se discuten con más detalles en las siguientes secciones. Los puntos cubiertos no son exhaustivos y el hidrógrafo debe usar su juicio y experiencia para expandir o reducir la lista cuando lo considere apropiado. Este capítulo considerará los principios generales aplicables a cualquier levantamiento.

2. PLANIFICACIÓN DE UN LEVANTAMIENTO HIDROGRÁFICO

Como veremos, la planificación del levantamiento es un proceso complejo que requiere de mucha atención a los detalles, un acercamiento flexible, buen manejo y una toma de decisiones efectiva. Si la planificación se hace con esmero, hay posibilidades de que el estudio también sea bueno.

2.1 El proyecto hidrográfico

La planificación del levantamiento es el término usado para abarcar todo el proceso de desarrollo de un proyecto hidrográfico, desde su inicio, su subsiguiente envío a una unidad designada, la planeación detallada dentro de esa unidad de cómo conducir el levantamiento y la entrega final de los datos a la Oficina Hidrográfica.

La planificación del levantamiento, por tanto, involucra un procedimiento coherente que consistirá en los siguientes pasos:

a. Requerimientos del levantamiento;
b. Preparación de una especificación del levantamiento hidrográfico (para incluir una revisión de los datos existentes);

c. Envío a una unidad designada.;
d. Planificación del programa de esa unidad;
e. Evaluación de la tarea dentro de esa unidad;
f. Requerimientos de reconocimiento;
g. Ubicación de los recursos;
h. Planeación detallada del levantamiento;
i. Estimación del tiempo requerido;
j. Planificación final del programa y aprobación;
k. Relación con las autoridades externas;
l. Planificación de la administración;
m. Planificación diaria;
n. Planes para la recolección y revisión de datos;
o. Planes para entrega de los datos;

Los desarrollos de los requerimientos del levantamiento varían en gran medida de país a país. Las especificaciones finales del levantamiento se asignan a una unidad designada del levantamiento que tiene la responsabilidad de los restantes requerimientos de planificación. Una "unidad designada" podría ser una embarcación sondeadora del gobierno, un participante independiente del levantamiento que trabaje ya sea con barcos fletados o botes, o una compañía comercial que trabaje bajo contrato. Cada nación tendrá su propio proceso de planificación.

2.2 Evaluación de una tarea de levantamiento

Antes de que pueda tener lugar una planificación detallada, el hidrógrafo debe tener bien en claro el objetivo del estudio y quien será el usuario principal de la información. En general, cada levantamiento debe cubrir las necesidades inmediatas del usuario así como beneficiar a otros.

Al haber estudiado los requerimientos del levantamiento, los datos y gráficos del área adicionales que serán sondeados, el hidrógrafo primero debe decidir si se requiere de datos adicionales y proponer cualquier cambio que considere necesario en la tarea de levantamiento.

Una vez que se cumple con todos los datos básicos y se han fijado los límites y escalas del sondeo, puede establecerse la principal tarea del hidrógrafo. Las especificaciones para el levantamiento serán fijadas directamente en las especificaciones del trabajo de levantamiento, y entre éstas es clave la Orden específica del levantamiento como está definido en la Publicación OHI S-44.

Los principales puntos de evaluación de la tarea son los siguientes:

a. Establecimiento del control geodésico;
b. Método de control posicional y calibración de ¨navaids¨ (ayuda de navegación);
c. Criterio de sondaje que incluya la política entrelíneas;
d. Categoría de búsqueda de sonar;
e. Datos y observaciones de mareas;
f. Naufragios y obstrucciones;
g. Muestras del fondo marino;
h. Observaciones oceanográficas;
i. Observaciones de las corrientes de mareas;
j. Observaciones geofísicas;
k. Línea costera y topografía;
l. Luces y boyas;
m. Direcciones de navegación y perspectivas;
n. Señales de radio;
o. Observaciones secundarias (fotografía vertical, distancias medidas, líneas líderes, costa magnética, fenómenos naturales, etc.);
p. Observaciones de pasajes;

Datos existentes. Al hidrógrafo se le debería proveer de copias de los mapas a escala más grandes que existen publicados así como todos los levantamientos anteriores a la escala del estudio, junto con sus Reportes del Levantamiento (RL). Esto debería estudiarse cuidadosamente, conjuntamente con las secciones relevantes de los datos de mareas, direcciones de navegación, fotos aéreas y mapas topográficos.

Ubicación de recursos. De la lista de puntos 2.2.5, y del estudio de datos previos, el tamaño de la tarea puede evaluarse. La planificación detallada se llevará a cabo después de este proceso, pero el estudio inicial revelará qué recursos se necesitan para cumplir con la tarea. La siguiente lista muestra algunas de las consideraciones que deberían realizarse cuando se planifican los recursos:

- Predicciones climáticas y estado del mar. Esto afectará el tamaño de la embarcación que se usará en la tarea y la capacidad de utilizar botes para trabajos y evaluaciones dentro de la bahía.

- Tamaño del área de aguas superficiales. Esto determinará cuanto trabajo de bote se necesita. Si los botes son necesarios, el tiempo tomado para completar la tarea dependerá en mucho del estado del mar; 2.2.7.1 y 2 deberían, por tanto, ser considerados conjuntamente.

- Uso de helicópteros. Podría ser que la unidad tenga un helicóptero disponible, pero si no, ¿se requiere para acceder a sitios remotos?

- Logística. La resistencia de los propios recursos del hidrógrafo determinará el combustible, agua y los requerimientos de almacenamiento. El mantenimiento de los equipos es otra consideración.

- Mano de obra. Debe evaluarse el número y especialización del personal que se necesita para cumplir con cada tarea. Los siguientes factores también son relevantes: cambios de personal; correo y comunicaciones; licencias y recreación; instalaciones médicas en tierra y flotantes; soporte y transporte en la costa, alojamiento en costa y arreglos monetarios.

- Topografía. Esto determinará los recursos requeridos para evaluar los sitios en tierra.

- Campos de Botes separados – Las especificaciones del levantamiento pueden ordenar un campo de botes separados y en tal caso se debe seguir la lista de planificación anterior. Sin embargo, se deberían dar consideraciones para separar un bote para realizar trabajos en la costa e investigaciones en bajíos si existe un puerto adecuado o atracaderos protegidos. El tiempo que se destina a bajar e izar botes es improductivo.

También deberían investigarse las probables restricciones en la realización del levantamiento. Investigar cual es la actividad pesquera probablemente afectará el progreso del estudio junto con las restricciones impuestas por las áreas de prácticas, de disparo y peligrosas, líneas navieras y puntos de flujo de tráfico marítimo.

Puede requerirse de un reconocimiento del campo para acelerar el levantamiento. Ver Sección 3.

2.3 Planificación detallada del levantamiento

Una vez que se han evaluado el tamaño y rango de la tarea así como los recursos necesarios para realizarla, puede comenzar la planificación detallada del levantamiento. Se puede planificar una cantidad de actividades para operar en paralelo y un buen hidrógrafo tratará de reducir el tiempo total que se requiere para alcanzar el objetivo. En los siguientes párrafos se da una lista amplia de las acciones requeridas, pero se debe recordar que cada levantamiento será diferente y que podrían incluirse puntos adicionales, o algunos en la lista podrían eliminarse.

2.4 Control Horizontal

Las especificaciones del levantamiento mostrarán la referencia horizontal para el estudio y enumerará los detalles de las estaciones geodésicas coordinadas junto con sus descripciones si se llevan a cabo.

Decida la mejor forma de alcanzar estándares de precisión de control horizontal expuestos en las especificaciones del levantamiento. Las especificaciones del levantamiento detallarán la opción de navaids - se puede ordenar más de una. En casos poco comunes, no sería posible alcanzar los estándares indicados con los navaids disponibles por lo que se buscaría una flexibilización de parte de la Oficina Hidrográfica.

Una vez que las opciones de navaids han sido determinadas, se deben escoger sus sitios. Utilice cualquier sistema de análisis de redes que esté disponible. Decida como coordinar mejor las nuevas estaciones. Considere el acceso a los sitios y cualquier requerimiento de reconocimiento. Decida como accionar los navaids y calcule con que frecuencia se necesitará el reabastecimiento del sitio. Identifique las autoridades a las que debe solicitar permiso para usar los sitios escogidos, el permiso de frecuencia de despeje y aterrizaje, botes y helicópteros. Esto incluirá sitios para marcas en la costa si se emplean métodos de fijación visual.

Decida cómo y donde serán calibrados los navaids escogidos y si será necesaria la recalibración durante el transcurso del estudio.

Los levantamientos más modernos usan formas de GPS para el control en tierra y flotante. Se debe validar donde se utilice el DGPS para el control flotante. En emplazamientos remotos en tierra, el punto de posicionamiento dentro de 20 cms debería alcanzarse dentro de un plazo de 24 horas luego de la toma de los datos, si estos pueden ser transmitidos a la Oficina Hidrográfica para su comparación con el sitio de monitoreo ITRF más cercano. De lo contrario, establecer una nueva estación requerirá de una conexión a una red existente.

2.5 Control Vertical

Las especificaciones del levantamiento detallarán los datos a los cuales serán reducidos los levantamientos y su relación a los datos de terreno existentes, también se debería suministrar una lista de cualquier punto de referencia existente. A continuación se presentan puntos de planificación que deben ser considerados:

Decida donde observar la altura de la marea si no está ordenado en las especificaciones del levantamiento. Decida el emplazamiento de las varas y medidores adicionales si se requiere y planee el asentamiento y recuperación de los medidores costa afuera si es apropiado. Asegúrese de que los sitios del medidor y vara no se secan en bajamar, planee medidores y varas adicionales si esto no puede evitarse.

Decida como establecer mejor los gráficos de datos en el vara/medidor desde los puntos de referencia existentes o desde la transferencia de datos u observación y análisis. Planee conectar los datos recientemente establecidos a un sistema de nivelación basado en tierra si es aplicable.

Establezca la naturaleza de la marea y los rangos previstos, y el efecto que tendrá en el campo de trabajo. Donde exista la posibilidad de que las varas o medidores de mareas se sequen, deben planearse varas o medidores adicionales para permitir que los datos de marea sean registrados a lo largo del sondeo.

Decida si se necesitarán ajustes co-mareas. Si existen, determine los factores de mareas desde una tabla de mareas y del gráfico apropiado de la co-marea, o producirlos localmente a partir de los mejores datos disponibles. Busque asesoría de la Oficina Hidrográfica si es necesario.

2.6 Corrientes de mareas

Establezca el ritmo y dirección máxima prevista de una corriente de mareas dentro del área de estudio.

Determine los requerimientos para observaciones completas de corrientes de mareas y como se pueden conducir observaciones online.

Identifique aguas turbulentas, remolinos y manantiales de agua fresca graficados y planee observarlos.

2.7 Sondaje

Las siguientes consideraciones generales deben tomarse en cuenta cuando se realiza la planificación inicial:

Al examinar los gráficos de escala más grandes del área de levantamiento y levantamientos anteriores, localice todas las profundidades críticas y de control y prepare la sobre posición de comparación del sondaje.

Planee la línea principal de espacio, dirección y velocidad de sondaje del estudio. Para SBES, las líneas deben ser perpendiculares a la dirección general del contorno, donde sea posible.

Planee la línea de cruce de dirección, normalmente en ángulos rectos al sonar principal y la línea de dirección del sonido, y planifique operar esto desde el comienzo del estudio como parte de una medida crucial de control de calidad.

Estime probables cambios temporales o espaciales en el régimen de la velocidad del sonido y planee cobertura de investigación de la velocidad inicial del sonido.

Estime un presupuesto de error del sondaje y compárelo a la especificación del levantamiento.

La velocidad de la embarcación tiene que evaluarse para el rango previsto de profundidad en el área de estudio y el tipo de sensor de eco que se utilice. Compare la velocidad de la embarcación con la velocidad requerida para remolcar el sonar para determinar la velocidad máxima y óptima del sondeo.

Durante la planificación de las líneas de sonar y sondaje, se debe mantener una lista de las líneas planificadas.

Para líneas adicionales de estudios SBES debe considerarse dentro de un contorno de 10 metros. Las líneas adicionales deberían operar paralelo a un muelle o embarcadero.
Las líneas de sondaje deben planificarse y operar junto con las líneas líderes y rutas recomendadas, en muelles posibles y promontorios que puedan ser pasados de cerca por las embarcaciones en un pasaje normal.

Si usa SBES para levantamientos costa afuera se debe prestar particular atención a los sondajes de profundidad <40 m, donde la menor profundidad debería obtenerse sobre todas las características del fondo marino. Las interlíneas deben operarse en profundidades <40 m a menos que el fondo marino

sea plano y sin características y no se muestren peligros existentes a la cobertura completa por un sonar de escaneo de remolcado lateral de alta definición. Se debe dar una explicación completa en el RL cuando las áreas de <40 m no están interlineadas.

2.8 Sonar de barrido lateral

Las siguientes consideraciones generales se deben tomar en cuenta cuando se realiza la planificación inicial:

La corriente de mareas tendrá una influencia importante sobre la dirección de la línea de sonar cuando se utilizan sistemas de remolcado, con frecuencia se necesitará alcanzar un compromiso entre las direcciones de mejor sondaje y la línea sonar. En algunos casos, los datos de batrimetría y sonar tendrán que reunirse en forma separada.

Inspeccione la Lista de Naufragio suministrada con los datos de especificaciones del levantamiento e identifique aquellas con posiciones enumeradas como aproximadas y de esta manera que requieran desautorizar búsquedas o prestarles atenciones especiales. El límite del área de esta búsqueda puede extenderse afuera de los límites dados del área de levantamiento establecida. Vea el capítulo 6 de la publicación S-44 de la OHI.

Planee la información de la lista de Naufragio, otros peligros y contornos de profundidad en el esquema de rastreo planeado.

Cuando realice levantamientos en o cerca de campos petroleros o áreas de exploración se deben tomar notas cuidadosas de zonas de seguridad de 500 metros, de instalaciones en el fondo marino y posibles operaciones de tendidos de tuberías para confirmar la seguridad del “pez de remolque“.

Las líneas de sonar deberían planificarse para que operen dentro de 20 grados de la corriente o flujo de marea prevaleciente. En áreas de fuerte flujo de mareas, se tendría que adoptar una dirección mucho menor de 20 grados para asegurar que el sonar de barrido siga el rastro del barco de forma cercana.

El espacio de la línea sonar debería planificarse de acuerdo con los requerimientos del levantamiento.

Asegure que cualquier área de búsqueda desautorizada que se ubique en el borde exterior del área del levantamiento sea cubierta. Las líneas adicionales serán planeadas para operar fuera del área para asegurar una sonificación completa del área con una superposición apropiada.

Siempre que un levantamiento incluya un canal, una ruta recomendada o una línea principal en aguas restringidas, debería ser rastreado por el sonar. Cuando se planeen tales rastreos se deben hacer asignaciones para acomodar las embarcaciones más grandes que probablemente usarán esas rutas, prestando particular atención a las áreas de giro y donde las rutas cambian de curso.

2.9 Muestras del fondo marino

Las muestras del fondo marino deben obtenerse como se requiere a través de toda el área de sondeo. Vea el 4.2 de la Publicación S-44 de OHI.

Las especificaciones del sondeo podrían requerir la retención de un porcentaje de todas las muestras obtenidas. Concesiones de vencimiento deben hacerse para este requerimiento.

2.10 Delineación de línea costera, objetos conspicuos y topografía

El requerimiento de hacer mapa de la línea costera y otra topografía se definirá en las especificaciones del sondeo.

No siempre se puede depender de la línea de pleamar mostrada en los mapas como la línea costera para los sondeos hidrográficos.

Use gráficos y fotos suministrados con las especificaciones del levantamiento, identifique las áreas cubiertas adecuadamente y aquellas que requieren de trabajo adicional. Donde no existan graficas, mapas o fotos aéreas modernas, todos los detalles de las líneas costeras y topográficas que serán usados por el navegante deben fijarse en forma precisa.

El hidrógrafo debería intentar obtener copias de cualquier gráfico, mapas y datos geodésicos modernos adicionales a los suministrados con las especificaciones del levantamiento. Cualquiera de estos datos debe entregarse a la Oficina Hidrográfica al finalizar el levantamiento.

Determine los medios de delineamiento de áreas inadecuadas e identifique el equipo que será usado para definir tales áreas en forma apropiada a la escala del levantamiento**.**

2.11 Observaciones secundarias

Observaciones geofísicas. Las especificaciones del levantamiento deberían detallar cuales son las observaciones geofísicas que se requieren, pero generalmente las observaciones magnéticas y de gravedad pueden tomarse conjuntamente con la batimetría. Las especificaciones del levantamiento cubrirán con detalle la línea de separación. Si las anomalías magnéticas están graficadas, planee observarlas y repórtelas. Planifique las observaciones magnéticas en tierra si se ordena en las especificaciones del levantamiento.

Luces y Boyas. Establezca cuales luces deberían estar visibles desde el terreno del levantamiento y planee revisar sus características.

Establezca el número de boyas que requieren ser fijadas.

Fotografía aérea. Si se ordenan fotografías aéreas, entonces planifique volar durante condiciones ventajosas de clima y mareas. Las fotos resultantes podrían utilizarse para topografía y delineamiento costero.

Direcciones de Navegación y perspectivas Las enmiendas a las Direcciones de Navegación normalmente pueden compilarse durante el transcurso del levantamiento y no debería requerirse de tiempo adicional para observar la información para la inclusión. Planee chequear todas las perspectivas fotográficas y fotografíe las nuevas como se ordena en las especificaciones del levantamiento. Planee chequear las instalaciones del Puerto y las instalaciones para aeronaves pequeñas.

Estaciones de radio Planee revisar la precisión de los datos publicados.

Plataformas de malecones, muelles y embarcaderos Planee revisar los detalles de las plataformas de malecones, muelles y embarcaderos. Esto normalmente puede hacerse durante las operaciones de levantamiento.

2.12 Organización del equipo de levantamiento

El hidrógrafo principal normalmente preparará un Libro de Ordenes de Levantamiento que presentará un plan general, el cual describirá cómo se abordará el levantamiento, y que detallará las

responsabilidades de planeación y ejecución del trabajo. Estas órdenes deberían actualizarse regularmente para informar a todo el equipo de las prioridades de corto plazo y tener el marco dentro del cual se puede hacer una planificación día a día más detallada. Cuando el barco y los botes de levantamiento trabajan juntos diariamente la actividad se convierte en algo particularmente intensiva y complicada. Por tanto será vital tener un plan flexible y bien pensado para coordinar los períodos de descenso/elevación de los botes, los cambios de la tripulación, las provisiones y las instrucciones para quienes están a cargo del trabajo del bote.

La escasez de mano de obra siempre será un problema al inicio del levantamiento, con los equipos de observación y marea lejos y las tripulaciones de los botes y los equipos de costa a la espera en navaids en tierra, etc. Un buen transporte en la costa y/o helicópteros ayudarán enormemente a un inicio exitoso del levantamiento.

Las organizaciones de Puente y Sala Cartográfica requieren de una planificación y estructuración cuidadosa, que asegure que los datum se adquieren y manejan de la forma más eficiente.

La presión en todas las unidades del levantamiento de aumentar la productividad es considerable. Una buena gerencia y planificación, así como un liderazgo positivo es fundamental para el éxito del levantamiento.

2.13 Recolección y revisión de los datos

El Control de Calidad debería incorporarse en el plan en cada etapa, con la nominación de revisores de todos los datos que se mantengan pendientes de la próxima labor.
Planee la localización de las tareas de dibujo y recolección. Asegúrese de que se han recopilado y revisado correctamente los registros de acompañamiento mientras progresa el levantamiento.

En un levantamiento grande, es mejor completar un área en su totalidad antes de pasar a la siguiente. Esto asegurará que se puedan presentar los datos completos si la unidad fuese retirada del sondeo por alguna razón de fuerza mayor.

Sería conveniente que distribuya los escritos de las secciones y anexos separados del Informe del Levantamiento individualmente.

Todas las transcripciones y registros deben compilarse mientras progresa el levantamiento y, si es posible, no dejarlo hasta después.

La comparación de los datos levantados con levantamientos previos es la consideración más importante; debería proceder con el trabajo de campo y la planificación debería tomar en cuenta las investigaciones adicionales e invalidar búsquedas que puedan surgir de diferencias entre los datos cartografiados y los levantados.

2.14 Requerimientos de presentación de los datos

Los datos requeridos para ser presentados en la oficina Hidrográfica variarán enormemente según la política nacional y los requerimientos. En general incluirán:

a. Datos batimétricos fijados en formato digital o gráfico (Fair Sheet)
b. Datos de rastreo de navegación en formato digital o gráfico
c. Datos del sonar fijados en formato digital o gráfico
d. Datos de la textura del fondo marino en formato digital o gráfico
e. Informe sobre el levantamiento

Las Oficinas Hidrográficas deberían evaluar todos los datos del levantamiento presentados y enviar una crítica en un plazo de dos meses. Las dudas presentadas por la Oficina Hidrográfica deben ser

respondidas tan pronto sea posible mientras el levantamiento aún está fresco.

2.15 Desarrollo del programa de operaciones

La cantidad total de días planeados que llevará completar el levantamiento ahora debe ser adaptada en los requerimientos para las llamadas de puerto, mantenimiento de las naves, tiempo de paso, ejercicios, etc. Cada embarcación tendrá sus propio ciclo operativo y de éste debe extraerse un ciclo de labores y presentado para su aprobación, si es necesario. Si la estimación del tiempo requerido muestra que el levantamiento no puede ser realizado dentro del rango de la escala de tiempo asignado en las especificaciones del levantamiento, el tema debe ser presentado para una modificación del programa o la reducción del tamaño de la tarea de levantamiento.

2.16 Duración de la operación y costos estimados

No existen reglas rápidas y exactas para llegar en el momento preciso requerido para completar el levantamiento. Un hidrógrafo experimentado puede resumir los requerimientos después de estudiar las especificaciones del levantamiento y llegar a una buena estimación sin regresar a un resumen matemático. Sin embargo, el formato proporcionado en el Apéndice 1 para este capítulo suministrará una respuesta razonable y puede ser ajustado para que se adapte a las necesidades de cualquier levantamiento. Durante la etapa de planificación detallada, el hidrógrafo debería mantener un registro del kilometraje, número de naufragios, número de muestras de fondo requeridas etc. Estos datos pueden usarse para recopilar el formato de tiempo requerido.

2.17 Relaciones con las autoridades externas

Tan pronto se reciben las especificaciones del levantamiento, se deberían enviar las cartas a las autoridades externas donde se dan detalles amplios de las especificaciones del levantamiento y la escala de tiempo del mismo, junto con una solicitud para utilizar instalaciones, si es apropiado. Y si se considera necesario, a esto le pueden seguir cartas adicionales con más detalles una vez que se ha realizado la planificación detallada. A continuación se muestra una lista de ejemplos. Las especificaciones del levantamiento regularmente se envían a varias agencias directas desde la Oficina Hidrográfica, y la primera página de la carta de las especificaciones del levantamiento debe indicar las organizaciones que ya han sido informadas:

a. las autoridades pesqueras;
b. terratenientes locales;
c. Guardacostas;
d. autoridades de faros;
e. fuerzas locales de defensa;
f. autoridades que operan el radio de ejercicios y disparos;
g. las autoridades que operan campos petroleros;
h. los representantes del gobierno local;
i. agregados navales;
j. departamentos locales de levantamientos de tierra/mapas;
k. las autoridades que operan helicópteros;
l. autoridades religiosas;

Adicionalmente, si un equipo de botes separado va a desembarcar o equipos de costa vienen del mar o de operar de un puerto local o de un asiento, también debe considerarse a los siguientes organismos:

a. la policía local;
b. el alcalde o principal autoridad de la población;
c. las autoridades costeras;
d. los establecimientos de servicios locales;

Se podría necesitar realizar visitas durante el período de reconocimiento avanzado del levantamiento o a la llegada. También deberían considerarse siempre las implicaciones de seguridad.

3. RECONOCIMIENTO DEL LEVANTAMIENTO

3.1 Reconocimiento general

El reconocimiento se necesita antes de realizar cualquier levantamiento para adquirir los datos que permitan desarrollar un mejor y más económico estudio. La información recolectada debería tener en cuenta el diseño, planificación, organización y las observaciones de los objetivos propuestos. El reconocimiento debe desarrollarse inmediatamente antes del levantamiento, o con muchos meses de anticipación.

El reconocimiento es importante; uno mal realizado puede resultar en tiempo y esfuerzos perdidos posteriormente, cuando activos mucho más costosos probablemente estarán involucrados. También debe ser completo porque un reconocimiento pobre inevitablemente resultará en una planificación pobre.

El hidrógrafo llamado a hacer el reconocimiento debería tener experiencia, sentido común y conocimiento amplio de todos los equipos disponibles, y no tener ideas preconcebidas acerca del método por el cual se realizará la tarea. Las observaciones reales pueden dejarse con seguridad en manos de hidrógrafos menos experimentados, una vez que se han tomado las decisiones importantes.

3.2 El reconocimiento geodésico

Los propósitos del reconocimiento pueden resumirse así:

a. establecer contactos locales en persona;
b. visitar todas las estaciones propuestas - seleccionar los sitios reales. Recuperar las estaciones de control existentes
c. confirmar las intervisibilidades;
d. decidir sobre el diseño final de la red (reevaluar si es necesario)
e. marcar permanentemente las estaciones geodésicas;
f. describir las estaciones geodésicas;
g. comprobar el plan de observación propuesto (los instrumentos/objetivos requeridos). Preparar un programa de observación detallado;
h. Comprobar el plan administrativo para el levantamiento principal, enmendándolo de ser necesario.

Por cada nueva estación geodésica, se requerirá la siguiente información:

a. accesibilidad por caminos, trenes, botes, a pie o por helicóptero. El tiempo de acceso (ej: a pie desde el camino) y la ruta recomendada;
b. visibilidad desde la estación y los requerimientos para la subsecuente claridad;
c. descripción de la estación, orientación magnética a otras estaciones visibles;
d. fotografías de la estación, alrededores y fotos panorámicas desde la estación;
e. factores locales, aduanas, etc;
f. condiciones probables de visibilidad y meteorológicas.

3.3 El reconocimiento de mareas

Siempre que sea posible, se aconseja utilizar estaciones de marea establecidas o anteriormente usadas para las características comunes de los datos. Cuando se seleccione un sitio para medición de marea y escala mereométrica se debe considerar lo siguiente:

- Facilidad de erguimiento. Considere cual es el lugar más fácil para erigir la escala mereométrica y el mareógrafo, algunos sitios son más fáciles que otros, y algunos lugares son imposibles;

- La estación no se debe secar. El cero en el sensor de presión de la Escala Mereométrica y del Mareógrafo no debería secarse. Si esto no se puede evitar, se debe establecer una escala y un mareógrafo secundarios por debajo del nivel de la primera escala o mareógrafo;

- Facilidad de lectura. La escala o mareógrafo deben ubicarse de tal manera que puedan leerse todo el tiempo;

- Seguridad. Evite situaciones donde la escala mereométrica y particularmente el mareógrafo puedan recibir interferencia del público, como por ejemplo atracamiento de botes pesqueros;

- Refugio. El sensor de la escala o del mareógrafo debe estar situado lejos de los sitios donde existen las condiciones climáticas marinas y de viento más severas;

- Protección. Idealmente el grabador del mareógrafo debería colocarse en edificios que pueden cerrarse;

- Agua encerrada. El agua que esté restringida en movimiento por un banco de arena o cuenca no estará al mismo nivel que el mar abierto. Por tanto, una estación debe ser seleccionada para que refleje el verdadero nivel del mar en el área de levantamiento;

- Proximidad de marca de nivelación. Seleccione una estación cerca de dos marcas de nivelación si es posible, para ahorrar tiempo en largas operaciones de nivelación.

- Accesibilidad. Si se emplea un observador de marea, debe buscársele alojamiento cerca. Si un equipo de bote separado está en operación, la estación de marea debería estar cerca de donde el bote está amarrado o cerca de la base del equipo de marea.

4. ADQUISICIÓN DE LOS DATOS

Las profundidades marcadas en una carta náutica es su característica más importante y el marino debe poder confiar tácitamente en una batimetría exacta para evitar peligros. Se debe tomar gran atención para asegurar que los sondajes están posicionados en forma precisa. Un error en la posición regularmente causa más confusión que un error de profundidad; para un navegante es más probable que navegue libre de un peligro en la carta que confiar en la exactitud de su carta de profundidad y deliberadamente navegar sobre eso.

Las disciplinas de monitoreo de error de sondaje, la revisión de datos y el Control de Calidad (CC) son procedimientos continuos que necesitan estar sostenidos a lo largo de todo el proceso de levantamiento hidrográfico. En forma similar, la generación del informe final debe comenzar en la terminación de la etapa de planificación y ser ininterrumpida durante las siguientes fases del levantamiento. No debería dejarse hasta el final cuando toda la adquisición de los datos ha sido completada.

4.1 Control horizontal y calibración

4.1.1 Introducción

Las Especificaciones Hidrográficas detallarán los datos horizontales que serán usados durante el levantamiento; si, después de la planificación y reconocimiento (parte 2.4), aún existen insuficientes estaciones geodésicas coordinadas, estaciones secundarias, marcas terrestres y navaids, entonces debería crearse un control horizontal adicional dentro del área y sub-áreas para que cumpla con las precisiones requeridas para el posicionamiento en el mar.

Los métodos seleccionados para proveer control costa afuera estipularán en gran medida el trabajo preparatorio en tierra. Se podrían necesitar numerosas estaciones en tierra para fijación visual en levantamientos de áreas pequeñas cerca de la costa, mientras que se necesitarían sólo dos estaciones para levantamientos controlados por DGPS de área local. En cualquiera de los casos, las estaciones deberían estar lo más cerca de la línea de pleamar como sea posible para evitar inexactitudes en los patrones electromagnéticos causados por las condiciones de propagación variable sobre rutas terrestres.

La fijación de la posición de satélite es capaz de alcanzar gran exactitud con Técnicas Relativas de Posicionamiento GPS - el modo diferencial GPS (DGPS) y la fase transportadora DGPS de Real Time Kinematic (RTK)- con solo una estación referencial GPS, que ofrece mayor flexibilidad en la selección y ubicación de sitios que en el caso de métodos terrestres. Las correcciones DGPS pueden obtenerse del Radio Beacon Navigation Service (Beacon-IALA) y una variedad de WAAS (Wide Area Augmentation System) a través de servicios comerciales (Landstar, Seastar, Omnistar, Skyfix, etc.) y servicios gratuitos (EGNOS). Estos sistemas proveen de buena exactitud en el posicionamiento sin la necesidad de una estación de referencia en la costa; sin embargo, deberían realizarse calibraciones de receptores de GPS y chequeos en tiempo real en geometría (GDOP) durante el levantamiento.

4.1.2 Control horizontal en tierra

El control para levantamientos costa afuera usualmente puede generarse al extender la red geodésica establecida en el vecindario. Si esto no funciona, será necesario determinar una posición de datum, acimut y la escala para permitir que las nuevas estaciones sean fijadas en relación con las otras.

Deberían emplearse técnicas convencionales de levantamiento de tierra, las cuales se resumen a continuación. Las explicaciones detalladas pueden encontrarse en el Capítulo 2 con textos de referencia catalogados en la bibliografía:

a. la determinación de la posición absoluta de un punto de datum (A);
b. la orientación de la red por observaciones acimut (en A a B);
c. la determinación de la escala por la medida de la línea de base (desde A hasta B)
d. la extensión de la red por poligonal, triangulación o trilateración a las estaciones requeridas, con las estaciones intermedias fijadas por resección o intersección.

Las operaciones a.., b. y c. se requerirán sólo donde no existan redes geodésicas establecidas. Esto es pocas veces necesario; las técnicas para observaciones astronómicas o satelital GPS en la costa, realizadas por levantamientos geodésicos, van más allá de lo que abarca este manual.

Las observaciones angulares están hechas por teodolitos o sextantes con las distancias medidas por medios mecánicos, ópticos o electromagnéticos (EDM) o ambos por las Estaciones Totales. Las computaciones subsecuentes pueden desarrollarse en el esferoide de referencia en términos de latitud y longitud, o sobre la red y proyecciones en coordenadas rectangulares usando un plano trigonométrico.

Las observaciones de GPS, desarrolladas usando receptores geodésicos de frecuencia dual o por técnicas RTK DGPS, pueden producir mejores exactitudes en la determinación de la línea de base (vea el párrafo 6.1, Capítulo 2). Sin embargo, debería recordarse que las posiciones coordinadas obtenidas se refieren al elipsoide WGS 84 y a una red y proyecciones compatibles. La transformación de los datos desde WGS 84 debe realizarse (vea el párrafo 2.2.3, Capítulo 2), si el levantamiento hidrográfico se conduce en un datum local horizontal y vertical.

Las exactitudes posicionales de las marcas para los principales puntos de control en costa y las estaciones secundarias se especifican en OHI-S44.

4.1.3 Control horizontal en el mar

Descripción general del sistema de posicionamiento

Los métodos de posicionamiento terrestre incluyen técnicas tradicionales basadas en tierra como:

a. posicionamiento de resección sextante;
b. posicionamiento de triangulación/intersección;
c. métodos de posicionamiento visual;
d. métodos de posicionamiento (tag line)
e. métodos de posicionamiento de rango acimut;
f. sistemas de posicionamiento electrónico basado en tierra.

Desde comienzos de la década de 1990, la mayoría de estos métodos de posicionamiento terrestre han sido ampliamente reemplazados por sistemas de posicionamiento satelital, llamados GPS, y con los más exactos modos diferenciales GPS (DGPS) y la fase transportadora DGPS de Real Time Kinematic (RTK). Dentro de áreas de proyecto aisladas, donde los métodos satelitales GPS pueden ser inaccesibles o imprácticos, se necesitaría de las tradicionales técnicas terrestres para proveer el control del levantamiento. Algunos ejemplos son los siguientes:

a. proyectos de construcción marítima o dragados pequeños donde sólo se requiere de una cantidad limitada de cobertura de profundidad;
b. áreas bajo puentes, en atracaderos de bahías de calado profundo o cerca de represas donde la visión satelital de los GPS está bloqueada.
c. Proyectos intermitentes de bajo presupuesto, donde las técnicas terrestres tradicionales de posicionamiento pueden resultar más económicas que el equipar un sistema de levantamiento hidrográfico basado en un DGPS completamente automatizado;
d. levantamientos de reconocimiento rápido, donde no se requiere el cumplir con los estándares específicos de exactitud posicional.

Los métodos de procedimiento y los criterios de Control de Calidad (CC) para algunas de estas técnicas terrestres de levantamiento están detallados en este manual, principalmente con propósitos referenciales.

Exactitud posicional horizontal

Todos los métodos de posicionamiento, resumidos en el Apéndice 2 en la tabla 7.1 "Sistemas de Posicionamiento Horizontal y Criterios de Selección", son capaces de cumplir con los estándares mínimos de exactitud horizontal para una Orden de levantamiento seleccionada, detallado en el OHI S-44, siempre que las distancias desde el punto de referencia basado en la costa y la embarcación estén dentro de los límites normales de operación de sistemas. Los límites operativos varían con el tipo de sistema de posicionamiento, los procedimientos empleados y el ambiente en el cual se están usando. En general, la exactitud posicional de todos los sistemas se degradará en función de la distancia desde los puntos de referencia de la línea de base, algunos más rápidos que otros. Los usuarios deben evaluar completamente la exactitud resultante de cualquier método de

posicionamiento, incluido el DGPS para asegurar su idoneidad en el levantamiento a ser llevado a cabo.

Selección de sistemas de posicionamiento

Las exactitudes pronosticadas para los sistemas de posicionamiento empleados en hidrografía son citadas generalmente con referencia al uso normal de los equipos dentro de sus límites operacionales y las diferentes clases de levantamiento. La Tabla 7.1 muestra el criterio para la selección y empleo contra las órdenes de los levantamientos hidrográficos, como se definen en el OHI S-44, para los sistemas de posicionamiento con su exactitud posicional anticipada. La idoneidad de una técnica particular para un levantamiento debería ser guiada por la autoridad que establece las tareas, tomando en cuenta estas limitaciones. La Tabla asume un área de proyecto estándar localizado dentro de las 25 millas del punto de referencia de la línea costera (control horizontal) o hasta 200 metros de profundidad en el agua. Los criterios para realizar levantamientos dentro de estos rangos deberían conformar los estándares contenidos en OHI S-44 y en este Manual.

Los rangos generalizados de exactitud alcanzables con cualquier tipo de sistema también se muestran en éste y otros manuales, incluido los manuales de equipos de los operadores; las variaciones extremas son resultado de factores discutidos en otra parte de este manual y los capítulos relevantes de los manuales de equipos arriba mencionados. El rango máximo de exactitud indicado es generalmente el que puede preverse con el equipo que se está utilizando dentro de sus condiciones y limitaciones normales de operatividad. En algunos casos, el rango de exactitud abarca los formulados para las Ordenes Especiales 1ra y 2da de los levantamientos; esto indica que los factores dependientes del proyecto (geometría, distancia costa afuera, etc) deben considerarse para seleccionar el equipo más apropiado para una orden particular de un sitio de proyecto o levantamiento.

Control de ruta

Los métodos resaltados en el párrafo 4.1.3.2 suministrarán al hidrógrafo una posición en el mar, pero además, debe asegurar que su embarcación sigue la ruta deseada sobre el fondo marino, haciendo una asignación para los efectos de mareas, corrientes y tendencia del viento y por tanto, se debe pensar sobre este requerimiento cuando se planea un control posicional. El método fijado escogido también proveerá con regularidad información de ruta como un indicador izquierda/derecha mostrado en un aparato del sistema de posicionamiento o en el monitor de dispositivo especial HW/SW de adquisición y control de datos automatizado. Sin embargo, particularmente en trabajos de rango estrecho, a veces se debe suministrar ayuda complementaria del timón de la embarcación.

En los tradicionales métodos visuales o viejas técnicas EPS, un trazo gráfico en tiempo real de la ruta de la embarcación se mantiene manualmente o por un trazador de ruta con los datos del levantamiento sobre impuesto, después de una reducción en la etapa de posprocesado. En este caso las hojas de trazado deberían prepararse con calcos del recolector para ser usados para generar un registro operativo del progreso del levantamiento.

Cualquiera sea el método utilizado, tendrá un impacto en la planificación y ejecución del levantamiento y debe ser considerado dentro del plan general desde el principio.

4.1.4 Preparación del campo

Descripción general

Un reconocimiento de campo del área del levantamiento ahorrará tiempo considerable durante la etapa de recolección de datos. Las posiciones seleccionadas por las marcas del levantamiento deberían visitarse, confirmarse su idoneidad y escribir sus descripciones. Una vez que llega el equipo del levantamiento al sitio, se necesitará instalar el equipo en la costa y en la embarcación, lo que podría requerir de calibración y revisión de campo.

Al trabajar dentro del marco "estratégico" diseñado en la Oficina Hidrográfica, el hidrógrafo a cargo debe refinar el plan y si es necesario revisar el destacamento del personal y el equipo para su óptima utilización dentro del proyecto general. Cualquier ajuste al plan inicialmente acordado debe discutirse con la Oficina Hidrográfica y deben ponerse en marcha los métodos para el monitoreo del progreso.

Plan de observación

Siempre se debe tener mucho cuidado cuando se observa el marco del sistema geodésico, cada oportunidad que se presenta para chequear las observaciones y detectar las debilidades al observar las técnicas, los observadores y el equipo. Todos los cálculos deben completarse y revisarse en su totalidad antes de proceder con el trabajo de campo, dependiendo de la exactitud y coordenadas derivadas de esas primeras observaciones.

El hidrógrafo debe identificar los períodos óptimos de observación, usando un programa de planificación de misión, para alcanzar la orden de estándar para el levantamiento. La selección de los instrumentos debe ser tal que se obtienen observaciones del tipo y estándar apropiado, la calibración de los datos debe chequearse y los detalles deben registrarse para su inclusión en el Informe del Levantamiento.

Selección del sitio

Se debe tener considerable cuidado en la creación de la red, la selección del sitio y la densidad, instalación de las estaciones de referencia y las técnicas para la medición de ángulos y distancias, para asegurar la exactitud necesaria en el posicionamiento y así cumplir con la Orden del levantamiento. El tipo de levantamiento que va a ser desarrollado (puerto y zonas cercanas, litoral, costa o costa afuera), el sistema de posicionamiento seleccionado (visual/EDM/EPS/Satélite), la cantidad de LOPs y su geometría dentro de área de levantamiento tendrán una influencia en la decisión final.

La selección del sitio debe basarse en:

a. accesibilidad del sitio por tierra o desde el mar;
b. la capacidad para ocupar la estación o la necesidad de crear una estación excéntrica;
c. proximidad a la bahía o línea costera con vista clara al mar;
d. ínter visibilidad a los sitios adyacentes, libre de estructuras que probablemente causen interferencias a las señales EDM/EPS y que no obstruyan la recepción de señales satelitales;
e. disponibilidad de redes eléctricas o espacio para colocar suministradores portátiles de energía, como paneles de energía solar y generadores;
f. seguridad del sitio y capacidad de dejar los equipos solos;
g. elevación del sitio e idoneidad para el sistema de posicionamiento escogido.

Despliegue de la baliza e inspección

La revisión de las listas, creadas por el hidrógrafo a cargo desde los manuales de equipos, debería seguirse durante la instalación de las estaciones de referencia terrestres (EPS, DGPS o RTK GPS), o durante el uso de herramientas visuales/EDM para la medida de ángulos y distancias (sextantes, teodolito, EDM, estación total) para asegurar que se usa la operación correcta del sistema y técnicas similares a lo largo del levantamiento.

El tipo de las estaciones de referencia terrestres desplegadas (EPS, DGPS o RTK GPS) determinará la frecuencia de inspección necesaria para verificar que la operación esté correcta; este es también el caso para las estaciones totales no monitoreadas que operan en modo automático.

4.1.5 Alineación y calibración de los sistemas de posicionamiento

Descripción General

El tipo de sistema o herramienta seleccionado dictará el procedimiento adoptado para verificar la actuación contra los límites anticipados, para asegurar que la exactitud posicional alcanzada se equipara con los requerimientos de la Orden de levantamiento seleccionada, como se expresa en la Tabla 7.1.

Los procedimientos y técnicas de alineación/calibración, detalladas en el manual del usuario (o manual del operador), siempre deberían seguirse en el comienzo y el fin de un levantamiento, y cuando se estime necesario verificar la actuación del sistema en el campo, particularmente si se sospecha de la actuación y de la exactitud. Estas revisiones deberían realizarse, tan lejos como sea posible, dentro del área del levantamiento en los rangos previstos y contra un sistema de orden más alto previamente calibrado o ayuda marítima o entre estaciones de control coordinadas. Todas las estaciones, sistemas EDM y prismas usados para el trabajo de control principal deberían recibir servicio regularmente, ser revisados frecuentemente sobre las líneas de longitud conocidas y en fecha de calibración periódica de fábrica.

Medición angular

Se debe ser cuidadoso para asegurar que se están usando técnicas de observación correcta para los sistemas de medición angular (sextantes, teodolitos, estaciones totales) y que los instrumentos están instalados para minimizar errores. Los instrumentos deberían estar al día para calibraciones y servicios; siempre debería usarse los estándares cero para el orden apropiado de observaciones, y registrar cuidadosamente las técnicas para evitar errores garrafales.

Cada estación seleccionada para su uso debería ser visitada y contrastada cuidadosamente contra la descripción de la estación, las distancias a los puntos fijos de referencia deberían confirmarse para determinar si la marca de la estación se ha desplazado. Las nuevas estaciones deberían chequearse para confirmar la ínter visibilidad al área del levantamiento y otras estaciones y ser enlazadas a tres estaciones establecidas. Debería evitarse el uso de estaciones excéntricas cuando sea posible. Cualquier enmienda al esquema de observación planeado debido a la inconveniencia de los sitios debería ser reanalizada, para asegurar que el estándar para el orden del levantamiento se está cumpliendo. Todas las estaciones deberían ser marcadas y registrarse las descripciones completas antes de observarlas.

Cuando se determinen las alturas por medición angular, la altura recíproca será usada cuando sea posible. Antes de mover el instrumento de observación, verifique los datos registrados para asegurar que las observaciones, tanto angular como de distancia, están dentro de los estándares requeridos. Si los estándares no se cumplen, reobserve todo el conjunto de observaciones.

Las observaciones angulares y de distancia final ya verificadas deberían ajustarse a la red, como es apropiado para cada tipo de observación, al usar un programa de computadora aprobado y luego computar la posición más probable y los datos de error de elipse. El error de elipse de la posición de cada nueva estación debe examinarse cuidadosamente para determinar la calidad de la posición final. Se debe realizar un análisis de redes.

Medición de distancia

Cuando se utilicen sistemas de medición de distancia (EDM, EODM, estaciones totales, etc), deben seguirse todos los procedimientos descritos en los manuales del operador/equipos y se debe realizar una revisión comparativa contra una línea de base geodésica o un sistema de orden más alto, con una exactitud igual o mayor a la requerida por la orden del levantamiento para establecer la posición.

Medición 2D

Como con los sistemas de medición de distancia, también deben seguirse las directrices de los manuales del usuario/equipo para los sistemas de posicionamiento 2D con revisiones apropiadas de calibración y comparación contra sistemas de orden más alto o redes/líneas de base geodésicas.

Cuando se planea el uso de sistemas de microondas EPF para validar datos posicionales GPS antes del comienzo de las operaciones de levantamiento, se debe tener cuidado en asegurar que las estaciones establecidas están todas en un datum común. Los sistemas de navegación deberían calibrarse y verificarse al compararlos con un sistema de posicionamiento preciso alternativo al inicio de cada levantamiento y se debe llevar a cabo una validación al final.

Medición satelital (3D)

Cuando se usen sistemas satelitales GPS, se debe seguir con mucho cuidado la observación de los procedimientos articulados por la Oficina Hidrográfica y detallados en las guías del usuario, para asegurar que el equipo es operado a su máxima capacidad para los distintos modos de posicionamiento disponibles SPS, PPS, Diferencial y RTK. Todos los sistemas deberían ser verificados antes del trabajo de campo y se debe realizar una validación de cierre al final de las secesiones en observación frente a una línea de base geodésica, una red de control geodésico de alto orden o un sistema con una exactitud mayor o igual que la requerida en la orden de levantamiento.

4.1.6 Métodos y equipos de control horizontal

4.1.6.1 Posicionamiento de intersección sextante

Descripción General

El posicionamiento sextante involucra la observación simultánea de dos ángulos horizontales entre tres objetos conocidos desde la cual se intersecta la posición de un punto costa afuera (vea la figura 7.1). La posición sextante se ejecuta totalmente a bordo de la embarcación de levantamiento y no depende de comunicaciones electrónicas, o soporte con base en la costa. Bajo ciertas condiciones (ej. cerca de blancos o cerca de fijadores de posiciones estáticas) puede ser relativamente exacta cuando un equipo experimentado la realiza apropiadamente. Sin embargo, en general, el posicionamiento sextante bajo condiciones dinámicas de una embarcación ya no se considera exacto para la mayoría de las aplicaciones.

Las marcas hidrográficas para los levantamientos controlados por sextantes pueden localizarse por fijadores sextantes o por cortes sextantes. Pueden usarse métodos de orden poligonal menores de un tercio si la distancia desde una estación de control básico o suplementario no excede los 4 kilómetros para los levantamientos hidrográficos en escalas menores que 1: 10.000 ó 2 Km. para levantamientos a escala más grande.

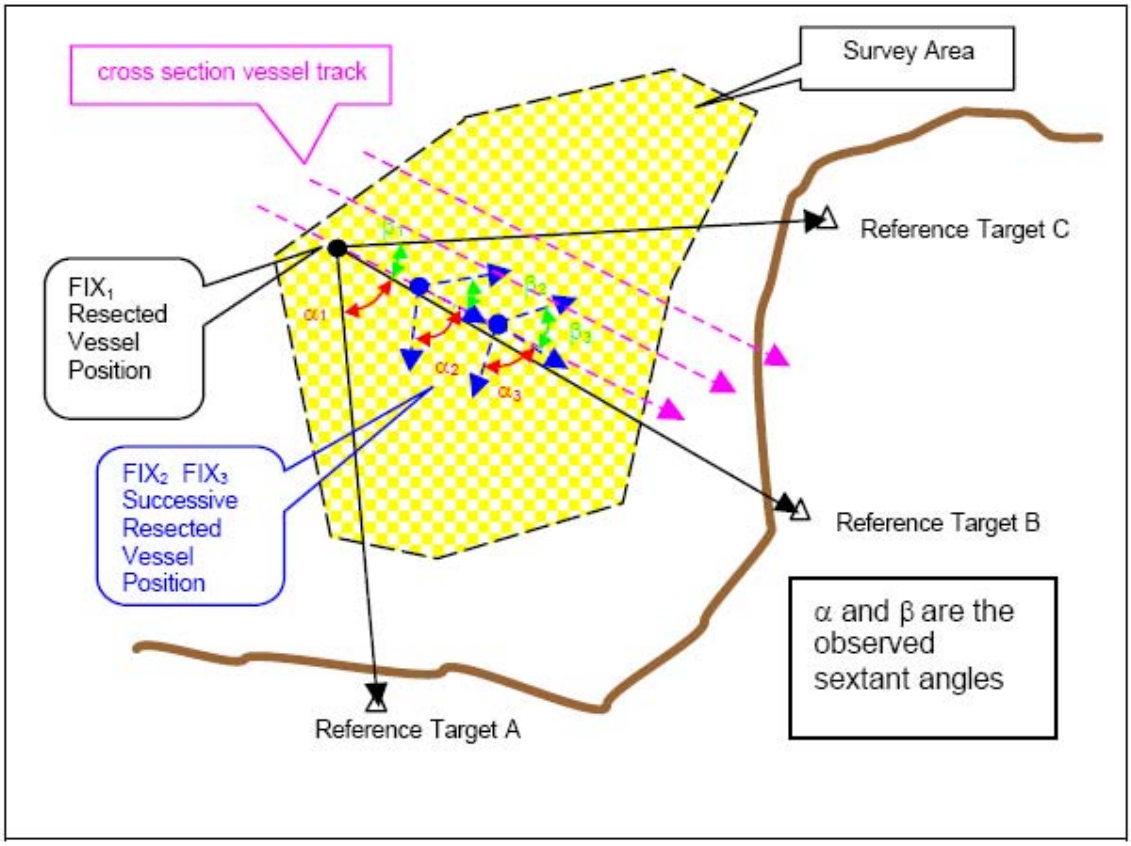


Fig. 7.1 "Posicionamiento de intersección sextante"

Un ángulo sextante sencillo puede usarse junto con un LOP de rango fijo, como se muestra en la figura 7.2 (posicionamiento de dragado Hopper). En el pasado esta fue una técnica común para localizar dragados hopper.

En embarcaciones costa afuera y otras plataformas estables, los ángulos sextantes múltiples pueden observarse para varios blancos (*Intersección sextante redundante)*. El fijador resultante puede ser ajustado por el software a bordo, usando menos técnicas de ajuste de cuadrícula, con lo que se obtienen resultados bastante precisos (menos de +/- 1 en algunos casos aislados).

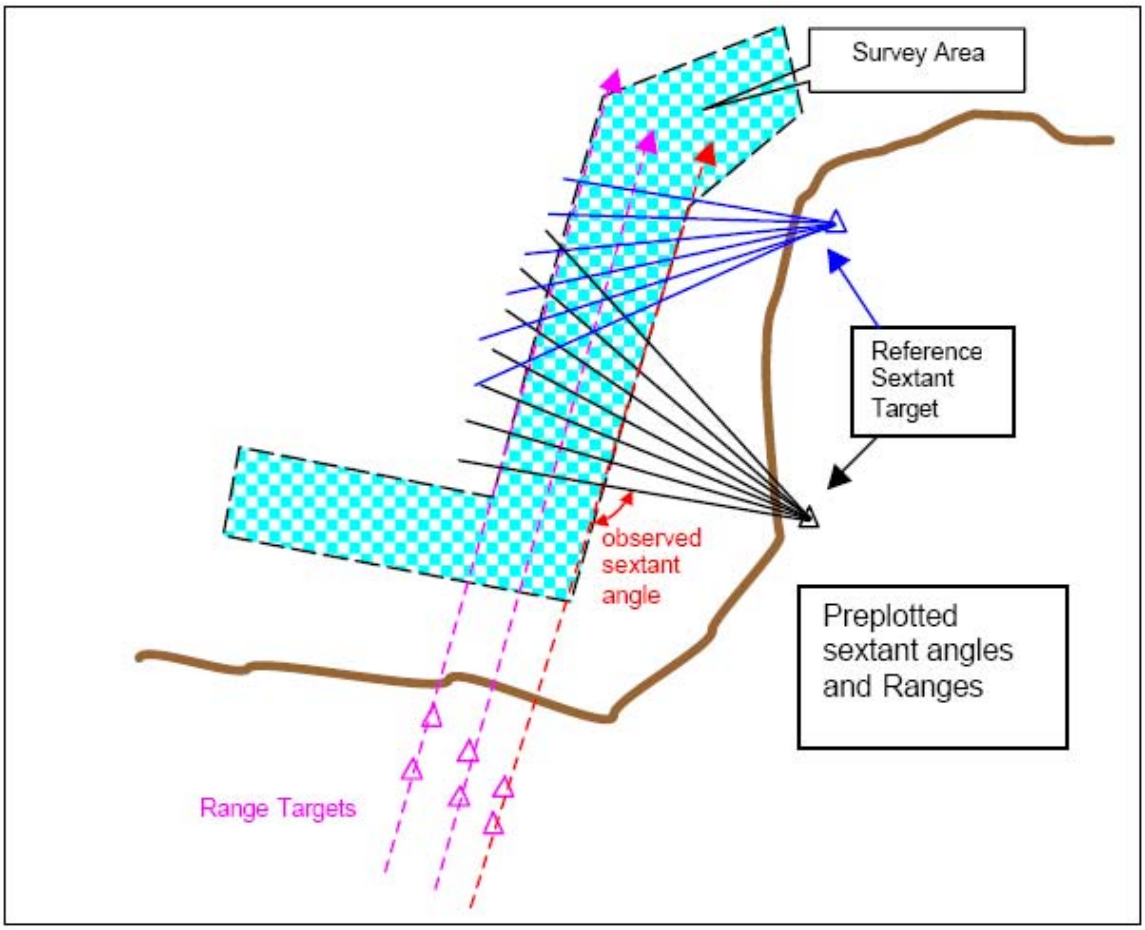


Fig. 7.2 "Posicionamiento de dragado Hopper"

Control de calidad y exactitud

Los dos ángulos sextantes observados forman el emplazamiento de círculos, cuya intersección es la posición de la embarcación. Cada ángulo forma un círculo definido por tres puntos: los dos puntos/blancos de control de costa y la embarcación. La geometría de estos dos círculos que se intersectan es un factor principal en la determinación de la fortaleza de una intersección sextante, mientras los dos círculos que se intersectan convergen entre sí, a posición resultante se debilita drásticamente. En las mejores condiciones, las exactitudes posicionales dinámicas eran escasamente mejores que +/- 5 m (95% RMS), y las exactitudes promedios estaban generalmente en el rango de 10 a 20 metros.

El método más simple para calcular la *exactitud de intersección* en cualquier punto es mover cada ángulo por su exactitud estimada y evaluar el cambio resultante en la posición. Esto se hace fácilmente cuando está disponible el software de computación de intersección automatizado, o al notar el cambio de posición en el apuntador de la estación. La exactitud posicional debería accederse en varios puntos en el área de trabajo. Al ejecutar el posicionamiento de intersección sextante, se deben considerar los siguientes factores de CC:

a. precisión de ángulos sextantes;
b. sincronización del observador;
c. velocidad y movimiento de la embarcación;
d. experiencia y cansancio del observador;
e. tipo de objetivos.

Debido a su diseño y manejo, la calibración interna de los instrumentos del sextante no es particularmente estable; por tanto los observadores deberían revisar continuamente a calibración de sus sextantes. Esto usualmente se hace en forma periódica durante el levantamiento, tradicionalmente al final de cada línea de levantamiento.

Existen pocas oportunidades para ejecutar revisiones de aseguramiento de calidad (QA por sus siglas en inglés) en el posicionamiento del sextante. Cuando eran visibles más de tres objetivos, las diferentes posiciones de intersección podían compararse desde una posición anclada.

Los sextantes que se fijan en distancias que se acerca al límite de visibilidad de las marcas probablemente sean débiles debido a que los ángulos o tasas de cambio son pequeños. El sextante debe estar en un ajuste perfecto, y los ángulos medidos y leídos con extrema exactitud, lo más cercano a los 30 segundos de arco, si es necesario. Si la suma de los dos ángulos frecuentemente se acerca a los 180 grados, con uno de los ángulos muy largo y el otro muy pequeño, la tasa de cambio será rápida cuando la embarcación se está moviendo; de tal manera, se debe tener mucho cuidado para asegurar que se realicen observaciones simultáneas; los efectos de los errores introducidos por fallas al observar los ángulos simultáneamente se minimizan cuando la distancia de las marcas desde la observación es pequeña.

4.1.6.2 Posicionamiento de Triangulación/Intersección

Descripción general

Una embarcación o plataforma costa afuera puede ser posicionada (triangulada) por tránsito o ángulos teodolitos observados desde puntos de línea de base en la costa. Esta técnica puede tener una aplicación en áreas donde los sistemas de posicionamiento electrónico no pueden ser desplegados o donde se requiere de una creciente exactitud posicional. Como se indica en la figura 7.3, se requieren de dos (o más) observadores teodolitos o de tránsito basado en la costa. Debido a la mayor precisión y estabilidad de los instrumentos, la exactitud posicional resultante puede ser bastante buena. Las estaciones teodolitos deberían cumplir con los requerimientos de exactitud para los levantamientos de orden especial o de orden 1. El ángulo de intersección de la embarcación debería ser tal que un error direccional de 1 minuto desde una estación teodolito no causará que la posición de la embarcación este en error por más de 1 mm en la escala del levantamiento; los ángulos mayores de 30 grados y menos de 150 grados usualmente asegurarán que se cumpla con esta condición. Las técnicas de triangulación usualmente se utilizan para sustituir mediciones de distanciómetro electrónico (EDM por sus siglas en inglés) o posicionamiento DGPS de estructuras costa afuera fijas (muelles, puentes, etc) durante la construcción y el subsecuente monitoreo de distorsión.

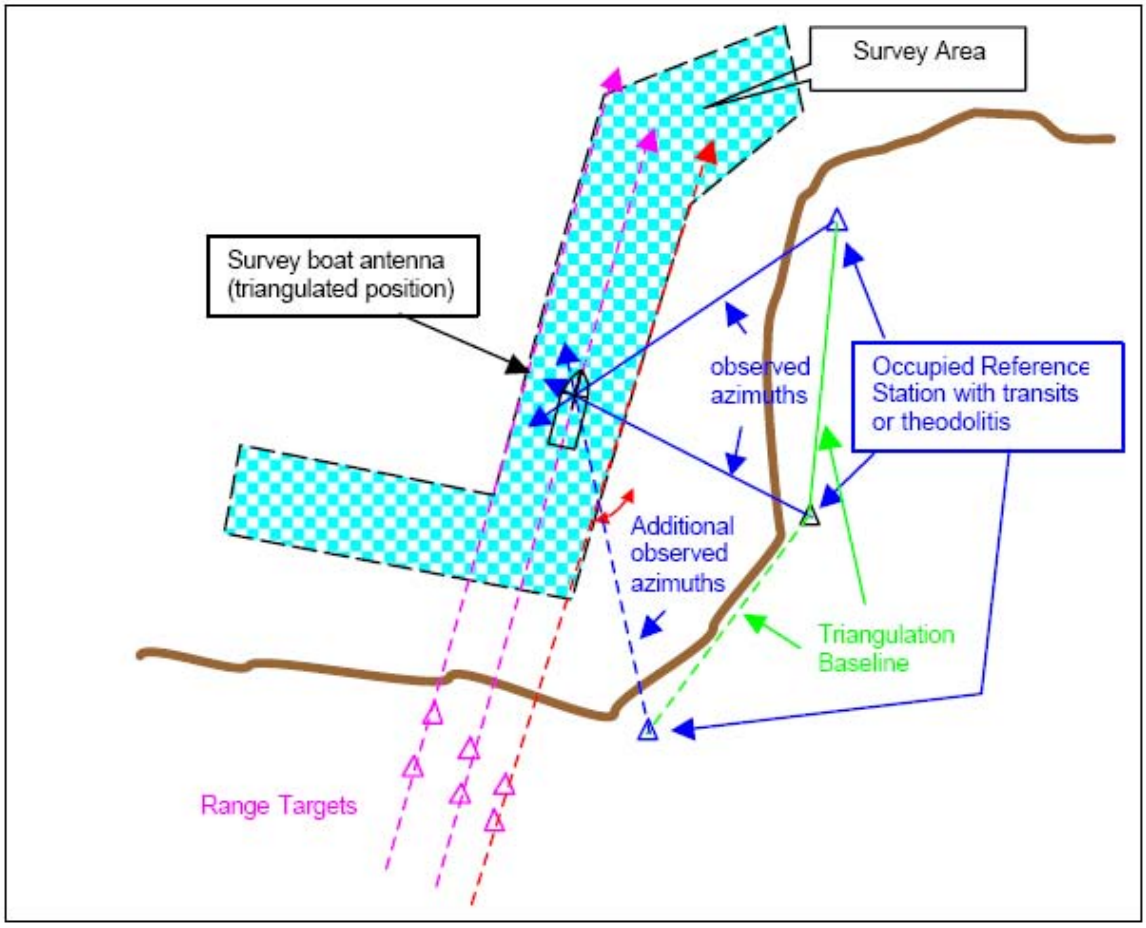


Fig. 7.3 "Posicionamiento de Triangulación/Intersección"

Exactitud

La exactitud posicional de triangulación/intersección depende de la exactitud del rastreo del sistema en uso; está relacionado con la fortaleza geométrica de la intersección desde dos ángulos o direcciones acimut y varia a lo largo del área de levantamiento, debido a que los errores estándar angulares cambian en función de la distancia entre el instrumento y la embarcación de levantamiento. El promedio de errores estándar de cada medición angular en la posición costa afuera de la embarcación, junto con el rango computado desde cada punto de referencia en observación, da una estimación de la exactitud posicional triangulada/intersectada.

Las técnicas múltiples de intersección acimut, que permite tres o más observaciones angulares adicionales, facilita una exactitud acrecentada con redundancia suministrada por las mediciones adicionales desde las otras estaciones en la costa.

Las alineaciones acimut regularmente están combinadas simultáneamente con rangos de mediciones EDM o GPS y al menos se ejecuta una técnica de ajuste cuadrícula si la adquisición automatizada está operando durante las operaciones de levantamiento.

Control de calidad y control de aseguramiento

El control de calidad se ejecuta con periódicas revisiones visuales hacia atrás durante el transcurso del levantamiento. Se debe realizar un control de calidad independiente con un tercer instrumento, lo cual no es muy fácil de ejecutar en la práctica, por lo que normalmente se usan sistemas EDM o GPS para hacer los chequeos.

4.1.6.3 Posicionamiento visual

Descripción general

Este método tradicional era regularmente utilizado para localizar un dragado hopper relacionado a características o banderas conocidas de la costa y aún se usa para unas pocas aplicaciones, como alineaciones verticales y horizontales en la construcción de equipos, barcas, aparejos, etc.

La técnicas relativas de posicionamiento visual ahora se ejecutan muy raramente, dada la disponibilidad de métodos de posicionamiento por microondas EPS, rangos de acimut y GPS; generalmente es idóneo para trabajos de reconocimiento que no son de navegación donde las características identificables (ayudas marítimas, faros, marcadores diurnos , puentes y otras estructuras o características del mapa) en los dibujos suministrados, cartas de navegación o mapas se asume que son exactas para ese estándar del levantamiento.

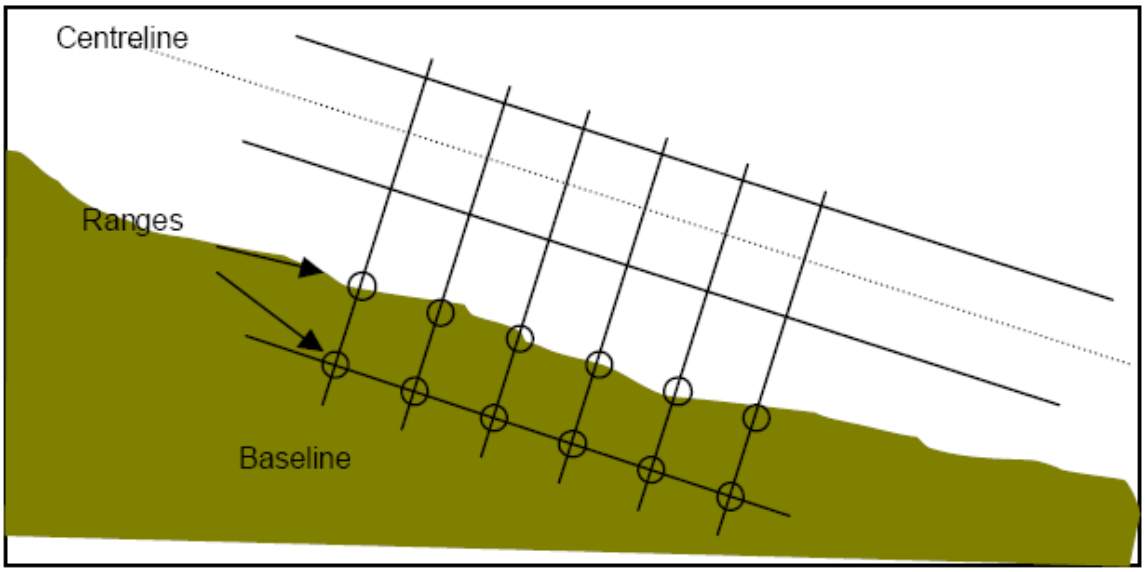


Fig. 7.4 "Varas de rango, banderas y/o láser establecidos en la costa para el posicionamiento relativo"

Los puntos principales de este método son:

a. el bote mantiene una velocidad de levantamiento constante entre todos los objetos identificables o rangos de intersecciones;
b. se toman los fijadores cuando el bote de levantamiento está pasando por el través o lateral de un objeto identificable;
c. las posiciones son interpoladas entre fijadores;
d. la velocidad de la embarcación se asume sea constante entre los fijadores, los cuales se cree están libres de errores;
e. la determinación de la posición puede obtenerse al hacer la intersección de puntos de costa y rangos establecidos al ver a través de tales características;
f. los resultados deberían usarse con precaución debido a la naturaleza aproximada de los datos y la exactitud marginal de tales levantamientos.

Control de calidad y exactitud

La exactitud es difícil de calcular y el control de calidad raramente se ejecuta cuando se usan técnicas de posicionamiento visual.

4.1.6.4 Posicionamiento a cordel

Descripción general

Este método tradicional era usado regularmente antes de la década de 1970 para monitorear el progreso del dragado de los proyectos de navegación y los levantamientos de canales de sección cruzada y en la investigación subterránea para la obstrucción de canales y levantamientos de barrido de resguardo de canales. Las técnicas de cordel fueron reemplazadas por las de microondas EPS y de rango acimut y ahora han sido substituidas por los métodos de posicionamiento GPS.

Dentro de distancias limitadas fuera de la línea de base y con la ejecución apropiada, un levantamiento controlado a cordel es un método estable y preciso de realizar levantamientos hidrográficos y otros trabajos investigativos para el diseño y construcción marítimos:

a. Se emplea una cuerda calibrada, estirada perpendicularmente desde los atracaderos o centros en una línea de base hasta el bote de levantamiento;
b. Se mantiene alrededor de las áreas de atracamiento para trabajos críticos en sitios de investigación; donde las señales de GPS están bloqueadas por tales levantamientos (sin embargo, se prefiere una estación total electrónica);
c. Usualmente no requiere de aparatos electrónicos o de comunicaciones.

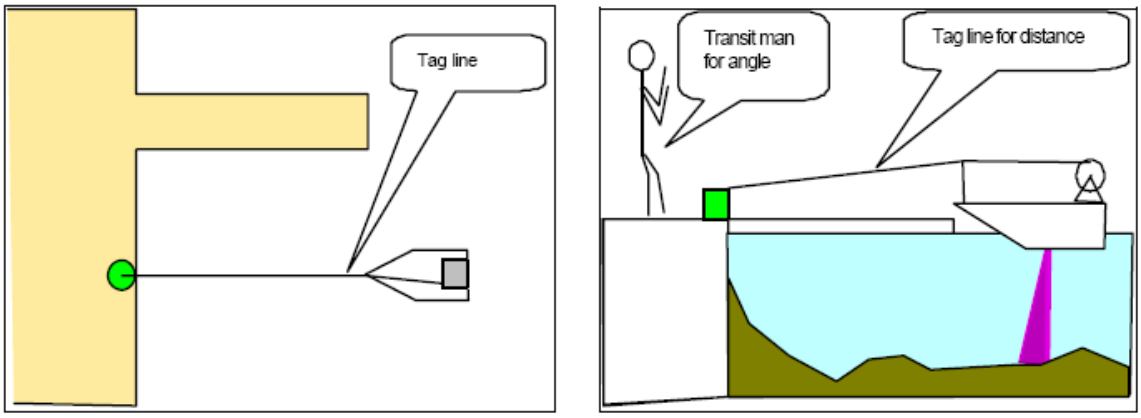


Fig. 7.5 "Levantamientos a cordel"

Técnicas

Un levantamiento a cordel es simplemente un método de ejecución de cruzar secciones desde una línea de base fija.

Deberían realizarse diferentes técnicas de levantamiento, dependiendo del tipo de operaciones e instrumentos adoptados como:

a. Observaciones estáticas - las observaciones de longitud a cordel se realizan cuando el bote está alineado apropiadamente en la sección y el cable es halado en forma tensa para minimizar el destemple;
b. levantamientos a cordel dinámicos o continuos - algunos levantamientos a cordel se conducen en un modo dinámico usando ecosondas análogas;
c. métodos de extensión a cordel de botes de línea de base - los cordeles pueden ser anclados a una embarcación flotante (bote de línea de base) que anteriormente ha sido posicionado por un cordel u otros medios;
d. métodos de rango constante - un cordel puede usarse para mantener un rango constante desde del centro de línea de base;

e. esquema de línea de base para levantamiento a cordel - los puntos intermedios o líneas de base para controlar el trabajo a cordel están colocados usando técnicas estándar de construcción de sondeos y estándares;
f. métodos de alineación a cordel - se usan banderas de rango visual, prismas de ángulo derecho, poligonales, teodolitos, sextantes y estaciones totales para mantener el control de alineamiento lateral del bote de levantamiento, que puede ser la parte más débil en la ejecución de levantamientos a cordel, especialmente si existen corrientes fuertes;
g. procedimientos de grabación de datos - el levantamiento a cordel y las mediciones de profundidad relacionadas pueden registrarse en hojas de trabajo o en un libro estándar de levantamiento de campo, los datos del levantamiento están descritos en el plan del sitio o en los formatos de secciones;
h. botes de levantamiento - puede utilizarse cualquier tipo de bote de levantamiento, equipado con cordeles manuales o impulsados por manivelas para realizar levantamientos a cordel. Generalmente, el rango de longitud del bote va desde 5 a 8 metros y los calados son menos de 0,40 metros y son esenciales para trabajar en áreas de aguas superficiales y evitar el varamiento.

Requerimientos de Exactitud y Calibración

Exactitud: la exactitud posicional de un punto posicionado a cordel puede ser computado usando la exactitud calculada de alienación y mediciones de distancia; similar a lo que se hace en los métodos de levantamiento de rango acimut.

Calibración: los intervalos a cordel abanderados deben calibrarse periódicamente cada 3 a 6 meses o después de recesos frente a mediciones encadenadas o sistemas EDM.

4.1.6.5 Posicionamiento de rango acimut

Descripción general

Esta, que alguna vez fue una técnica de posicionamiento ampliamente utilizada, se basa en la intersección de medidas de rango acimut, generalmente ejecutadas desde la misma estación de referencia de la costa, similar a una computación poligonal a proa, vea figura 7.6. Hoy día se emplea sólo donde el posicionamiento GPS no puede obtenerse debido a obstaculización satelital. Las principales características son:

a. las observaciones de ángulo (acimut) pueden medirse por poligonales, teodolitos o estaciones totales;
b. las observaciones a distancia (rango) pueden medirse por aparatos EPS (láser o infrarrojos EDM, microondas EPS o estaciones totales);
c. los datos pueden observarse manualmente, anotados en el libro de campo y transmitidos por voz al bote, por radio o grabaciones digitales y transmitidos por módem de radio al bote;
d. se usan tradicionalmente dentro de un área de 5 km de la línea costera y/o estación de referencia;
e. se alcanza una exactitud altamente relativa dependiendo del equipo utilizado (las mejores exactitudes se alcanzan por teodolitos/EDM automatizados o estaciones totales);
f. la calibración periódica o una tercera medición LDP (angular o de rango) es esencial para la redundancia;
g. se requiere de un equipo pequeño para realizar el levantamiento (es relativamente eficiente);
h. regularmente se usan botes de 5 a 8 metros de largo;

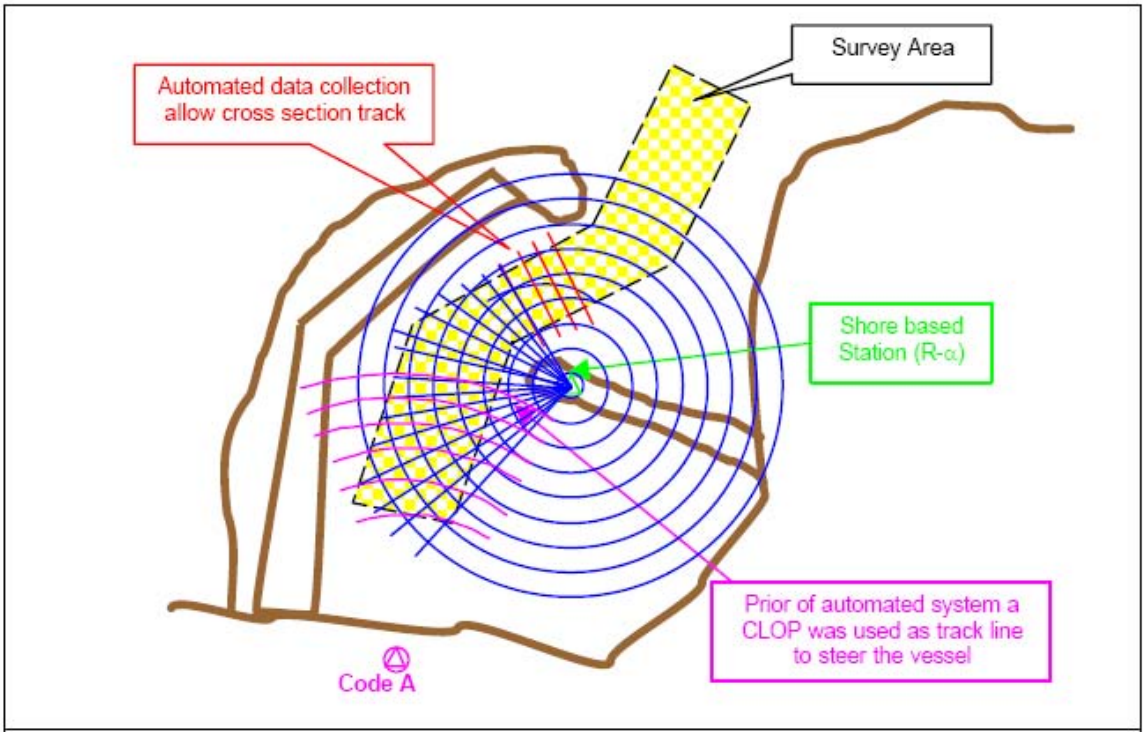


Fig. 7.6 "Posicionamiento de rango acimut"

i. los teodolitos con láser o EDM infrarrojos y las estaciones totalmente son altamente precisas como sistemas de rango acimut para las áreas de levantamiento de Orden Especial dentro de los 2 km del punto de referencia;
j. las microondas basadas en EPS raramente cumplirán los estándares de exactitud posicional para la Orden 1 (2 m ó 5 m);
k. alidada dinámica o distancias poligonales estadimétricas cumplen los estándares de exactitud posicional para la Orden 1 (exactitud a 5 metros) dentro de rangos de sólo 30-50 metros, dependiendo de las condiciones.

Procedimientos y requerimientos de control de calidad

Orientación angular:

a. la placa inferior del aparato de rastreo debe ser inicialmente referenciada, en relación al proyecto de levantamiento, a la red acimut de la vista hacia atrás de referencia (línea de visión 000 grados);
b. las líneas de visión adicionales de referencia (mojones) deben tomarse como orientación de referencia redundante;
c. todos los puntos de referencia de orientación deben seleccionarse como los controles visibles más lejanos y confiables, divisados y con los errores relativos resueltos en el sitio;
d. todas las medidas de orientación y la red de computación acimut deben registrarse en un libro de campo.

Comprobaciones periódicas de orientación:

a. las comprobaciones periódicas de orientación de la vista hacia atrás de referencia inicial (000 grados línea de visión) deberían realizarse durante el levantamiento (normalmente cada 20/30 fijaciones ó 5/10 minutos o al final de cada línea de levantamiento) para asegurar que no han ocurrido desalineaciones horizontales o verticales en el instrumento;

b. deberían tomarse líneas de visión de referencia adicionales (mojones), esto debería completarse normalmente al inicio y al final de la sesión de levantamiento;
c. se deben realizar reajustes y renivelaciones periódicas del instrumento como se requiere después de estas comprobaciones;
d. todas las operaciones de comprobación y renivelación deben anotarse en el libro de campo;
e. si la comprobación de orientación indica una desalineación importante, todas las fijaciones tomadas desde la orientación anterior deben desecharse y realizarse nuevas medidas.

Comprobación de aseguramiento de calidad:

a. las comprobaciones posicionales independientes están raramente disponibles comparado con la mayoría de los métodos de posicionamiento visual de levantamientos;
b. las técnicas de la fase portadora RTK-DGPS permiten comprobaciones posicionales independientes, pero éstas se ejecutarán con receptores geodésicos en modo estático y en el campo de rango topográfico;
c. para levantamientos de navegación críticos, las comprobaciones de posición siempre deberían hacerse con la embarcación lo más cerca posible de un punto de control de referencia.

4.1.6.6 Posicionamiento electrónico

Descripción general

Se han desarrollado una variedad de sistemas, la mayoría de los cuales se han hecho obsoletos desde que el GPS se hizo completamente operativo. Sin embargo, los conceptos básicos de operación detrás de los Sistemas de Posicionamiento Electrónico (EPS por sus siglas en inglés) basados en tierra y el posicionamiento de trilateración relacionado (incluido el GPS) no han cambiado significativamente.

Los sistemas de posicionamiento basado en tierra (o terrestre) usan las técnicas de trilateración y diferencia horaria para determinar una posición.

Sistema de Posicionamiento Electrónico (EPS)

En general, los EPS se clasifican de acuerdo a sus frecuencias de operación o el ancho de banda, vea la Tabla 7.2 del Apéndice 3 para el Capítulo 7, que determina el rango y la exactitud de operación, y de esa manera la aplicabilidad del sistema para un tipo de trabajo particular. En general, mientras más alta sea la frecuencia del sistema y más corta la longitud de onda, mayor será la posible exactitud alcanzable en la posición determinada, vea la Tabla 7.2 del Apéndice 3 para el Capítulo 7.

Sistema de Posicionamiento Electrónico de mediana frecuencia (RAYDIST/DECCA):

a. los sistemas fueron descubiertos en la década de 1950 pero ya no se usan;
b. los sistemas operaban por métodos de diferenciación tiempo/fase, lo que resulta en reticulados hiperbólicos o circulares (diferencias horarias);
c. los sistemas requerían calibración repetida para resolver ambigüedades de toda la longitud de onda (corredor) y de un monitoreo continuo durante el transcurso del levantamiento para resolver deslices de ciclo o corredor, similares a los requerimientos de determinación de ambigüedad de número entero para los modernos DGPS;
d. la calibración en el sitio era esencial para mantener la exactitud, pero en los levantamientos costa afuera muy lejanos la calibración regularmente era imposible;
e. las técnicas de posicionamiento visual eran usadas para calibrar estos sistemas.

Sistemas de Posicionamiento Electrónico de Baja frecuencia (LORAN-C):

a. el principal sistema de navegación marítima y aérea por más de 40 años;
b. un sistema hiperbólico de diferencia horaria de baja frecuencia;
c. idóneo sólo para la navegación general o los levantamientos de reconocimiento (Orden 3 cuando se calibraba);
d. la calibración diaria en el sitio o cerca del lugar es crítica si se va a mantener cualquier apariencia de absoluta exactitud;
e. la exactitud posicional absoluta es cerca de + 450 metros (+0.25 milla) en el mejor de los casos, sin calibración en el sitio.

EPS Rango-Rango

Estas microondas EPS (hiperbólicas o circulares) fueron introducidas en la década de 1970 y continuaron siendo el principal sistema de posicionamiento hasta mediados de la década de 1990, luego su utilización declinó cuando las técnicas diferenciales GPS se hicieron disponibles para áreas amplias. Hoy día la microondas EPS (Rango/Rango) aún se usa en esas áreas donde existe una pobre señal de cobertura GPS.

a. Trilateración es el proceso ejecutado por la microondas EPS Rango/Rango cuando se determinan las coordenadas al hacer la intersección de las distancias medidas desde dos (o más) puntos de control en la costa:

    i. Una Línea Circular de Posición (LCDP por sus siglas en inglés) está asociada con la distancia desde cada estación de costa;
    ii. Cada par de LCDP genera dos puntos de intersección, que son generados cada lado de la línea de base de conexión entre dos puntos de estaciones de costa;
    iii. Cada EPS usa su propio método para resolver esta ambigüedad, al orientarse a las coordenadas del punto de referencia inicial o al referirse a la posición calculada relacionada al acimut de la línea de base;
    iv. Inicialmente las distancias EPS eran observadas y timoneadas visualmente, realizando el registro en bitácora de los datos manualmente en un libro de trabajo o libro de campo, con un manual de fijación en una hoja de trazado;
    v. Los EPS modernos usan un sistema incorporado de adquisición de datos automatizado que registra en bitácora los rangos y computariza las posiciones relativas, y posteriormente envía estos datos a una unidad de pantalla de timonel y un trazado de ruta;
    vi. Los EPS de hoy día, y también los sistemas GPS, transmiten los datos digitales crudos a una PC que opera un paquete adecuado de Proceso de Adquisición y Control, capaz de sincronizar la posición y el sondaje en los archivos de datos de la bitácora, mientras ejecuta un CC de posicionamiento tiempo real y rastrea la posición en varias ventanas seleccionadas en los monitores principales del timonel y el operador.

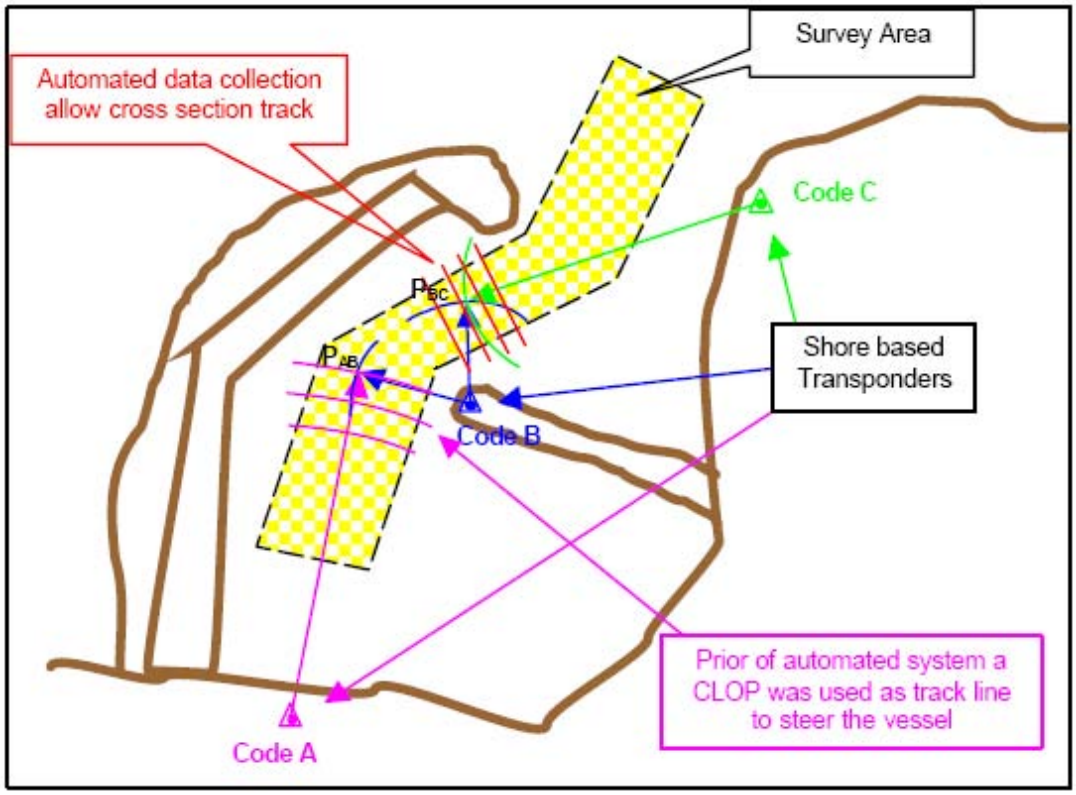


Fig. 7.7 "Intersección de Doble Rango"

b. El rastreo constante del rango suministra una buena capacidad de respaldo si ocurre una falla en el sistema de posicionamiento y guía automatizado. Cuando no existen técnicas automatizadas disponibles, el buque sigue un LCDP:

   i. Al mantener un rango constante desde una estación de referencia;
   ii. Al fijar intercepciones de rango desde la otra estación de referencia;
   iii. Al proceder a baja velocidad para producir una mejor exactitud en el posicionamiento y facilitar la tarea del timonel de seguir el patrón curvo del rango.
   iv. Las líneas del levantamiento son circulares, no alineadas al sistema coordinado del proyecto y regularmente no es ortogonal a la batimetría principal.

c. Rastreo automatizado rango-rango:

   i. Las coordenadas de intersección de rango automáticamente se computan desde las coordenadas precisas de las estaciones en la costa;
   ii. Las coordenadas del punto se transforman en relación al sistema de coordenadas de alineación del proyecto (estación-fuera de línea);
   iii. Los indicadores de curso análogos/digitales o los indicadores de ruta izquierda-derecha reciben datos posicionales, lo que permite el rastreo de cualquier sección cruzada o rango fuera de línea;
   iv. Los observadores toman manualmente los fijadores de posición desde un receptor o trazado de ruta, registrando las coordenadas en un libro de trabajo adecuado;
   v. En cada posición, la profundidad se marca en el papel de rastro del ecosondaje análogo y el valor se anota en el libro de trabajo.

vi. La correlación entre posición y sondaje será ejecutada durante la etapa de posprocesado;
vii. Los datos de profundidad digitalizados están correlacionados en tiempo real con los datos posicionales en un sistema de software de adquisición de datos en intervalos regulares predeterminados.

Exactitud Rango-Rango

La exactitud de la intersección es una función de dos factores:

a) La exactitud de rango de las distancias (o desviación estándar σ);
b) El ángulo de la intersección que varia en relación a la línea de base, la exactitud posicional varía en la medida que la embarcación cambia su posición en el área de levantamiento.

Control de Calidad

Los principales criterios de control de calidad a ser considerados en la exactitud Microondas EPS son:

a) . α el ángulo de intersección tiene un efecto mayor en la determinación de la posición y debería estar entre 45 grados y 135 grados;
b) σ no es constante con la distancia desde una estación en tierra y en general está en el orden de +/- 3 m en vez de +/- m ó 2 m declarado por el fabricante para condiciones ideales o bien calibradas;
c) la exactitud posicional promedio (σ +/- 3 m) puede variar desde 5 a 10 metros.

Posicionamiento de múltiple rango

Las técnicas de posicionamiento de múltiple rango (ej. Racal Micro Fix, Sercel Syledis, Mototola Falcon VI)

La posición se determina desde las coordenadas computadas de las intersecciones de tres o más círculos de rango observados simultáneamente.

Los LCDPs no se intersectan en el mismo punto porque cada rango contiene errores de observación:

a) tres coordenadas diferentes resultan de tres rangos observados y seis coordenadas separadas resultan de cuatro rangos observados;
b) un ajuste de las coordenadas da la posición final y normalmente se ejecuta en línea de cada ciclo de actualización, generalmente por una técnica de minimización de cuadrados mínimos o simplemente por el ángulo más fuerte de la intersección y no el promedio valorado de todas las coordenadas en intersección.

Los datos posicionales entonces se transforman en un sistema de proyecto específico coordinado como el descrito para un sistema de doble rango:

a) El uso de múltiples rangos minimizarlas incertidumbres con la posición de la embarcación que se obtiene al ajustar esos rangos para un mejor acople; un análisis de exactitud en línea se completa al evaluar las intersecciones posicionales de LCDPs que contienen errores (ver Figura 7.8);

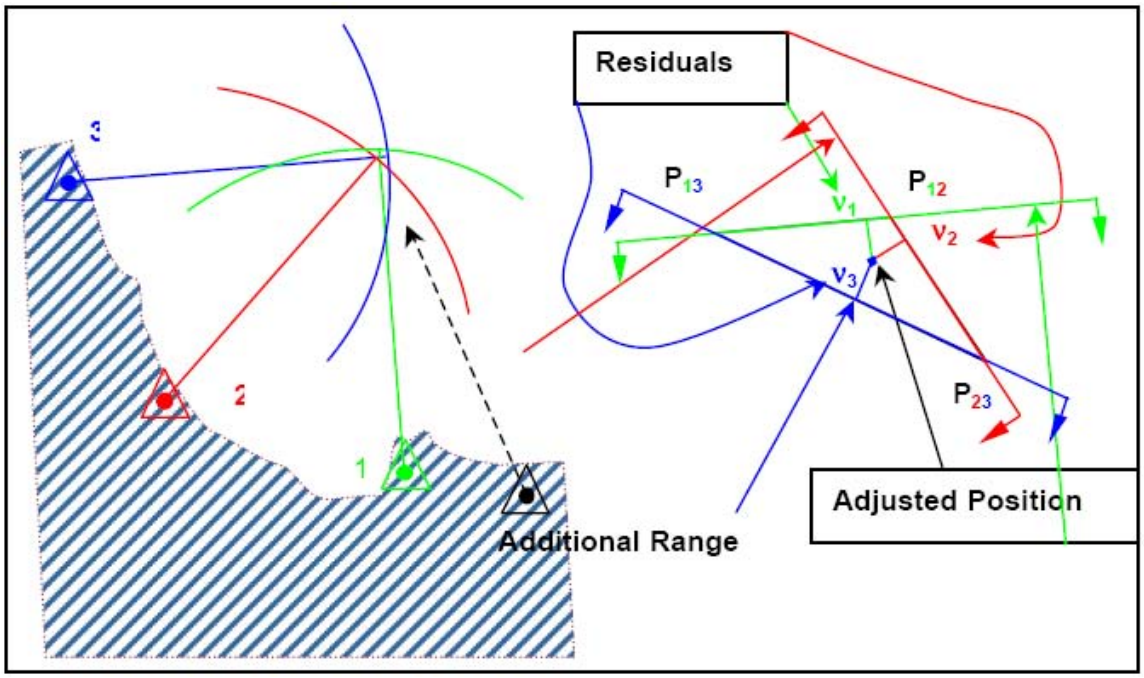


Fig. 7.8 "Intersección múltiple LCDP"

b) Un análisis de la exactitud de la medida de rango puede obtenerse al computar los errores de rango residual (v) para cada posición (software automatizado, usando un tipo de ajuste de cuadrados mínimos, puede suministrar una estimación exacta del error posicional RMS en cada actualización de la posición);

c) Los EPS automatizados dan una alarma cuando el RMS (Error Mediático Cuadrático) excedió los límites prescritos, asumiendo un error constante del estándar inicial dentro del área del levantamiento.

Calibraciones y control de calidad

El proceso de calibrar una microonda EPS se realiza a través de los siguientes pasos básicos:

a) determinación independiente de la localización de la antena de la embarcación;
b) la comparación de las diferencias entre las distancias de microondas observada y las distancias computadas desde un sistema de medición independiente (si se observan distancias directas);

o

c) comparación de las diferencias entre las coordenadas de microondas observadas y las computadas desde un sistema independiente;

d) realizar una serie de calibraciones independientes (*Calibraciones repetidas)*, la corrección al EPS, para ser aplicadas en la consola o almacenadas en un software de posición computarizada, se representa por la diferencia de la amplitud media.

Los sistemas y métodos usados para realizar una calibración independiente incluyen:

a) Calibración EDM - series de lecturas de distancias EDM se comparan directamente con los rangos de microondas observados simultáneamente y luego se aplican las correcciones;

b) Calibraciones de línea de base - el método más simple de calibración EPS, la embarcación de levantamiento se posiciona en un punto en la línea de base entre dos estaciones en tierra y la distancia computada se compara con los rangos combinados observados desde el sistema de microondas, las correcciones del rango son computadas y aplicadas. Este método debería repetirse en varios puntos en la línea de base y debería ejecutarse entre todos los pares de estaciones en tierra;

c) Calibración de instrumentos de estaciones totales - las coordenadas observadas de un sistema de posicionamiento automatizado pueden compararse directamente con las coordenadas más exactas obtenidas de las mediciones EDM de una estación total;

d) intersección de triangulación - el método más exacto de calibración de microondas se ejecuta en un ambiente dinámico. Se usan tres teodolitos para esta calibración de triangulación de alta exactitud, una serie de 5 a 10 mediciones, fijaciones de intersección, para el movimiento de la embarcación de levantamiento. Para cada serie de mediciones, las posiciones trianguladas se computan, se invierten y se convierten a unas distancias en rejillas las cuales se comparan contra los rangos de microondas observados simultáneamente. Una estimación de la validez de las estadísticas de la diferencia de amplitud media debe ser calculada como se explicó anteriormente;

e) resección de sextante - este método es válido sólo cuando la geometría de resección es ideal, cerca de la línea costera y con un movimiento muy lento de la embarcación. Varios ángulos de resección simultáneos (5 a 10) y las correspondientes distancias de microondas EPS se observan con tres sextantes centrados cerca de la antena EPS para minimizar los errores excéntricos. La computación de resección debe ejecutarse usando un software adecuado que suministre una indicación de calidad de la resección en base a la geometría y a una estimación del error estándar de los ángulos observados, para juzgar si el aplicar una corrección media al rango es estadísticamente apropiado.

f) Criterio general de CC para el EPS:

   i. La calibración estática no estimula la condición dinámica del levantamiento;
   ii. La calibración debe ejecutarse dentro o lo más cerca posible al área de levantamiento, para simular las condiciones reales dentro del área de proyecto;
   iii. La exactitud del procedimiento de calibración independiente seguido debe ser mejor o al menos igual a la microondas EPS calibrada;
   iv. Los efectos residuales de multitrayectos pueden reducirse pero no eliminarse con los procedimientos de calibración debido a la localización y orientación de la antena de la embarcación de levantamiento;
   v. Las calibraciones de microondas EPS de pulso son válidas sólo para los sistemas particulares de mediciones de rango usados;
   vi. Los sistemas de mediciones más exactos utilizados para calibrar los EPS también deben ser chequeados independientemente, o verificados, para prevenir disparates (GPS, estaciones totales, teodolitos, etc.);
   vii. Los procedimientos de calibración deben ser consistentes durante el curso de un proyecto.

Algunos de estos criterios básicos, descritos para ejecutar calibraciones EPS, también se aplican a las técnicas de posicionamiento GPS.

4.1.6.7 Sistema de Posicionamiento Global (GPS)

Descripción general

Desde la década de 1990 el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) se ha convertido en un sistema estándar de posicionamiento y navegación mundial y ha reemplazado a casi todas las otras técnicas. Coberturas pobres de satélite GPS sólo ocurren en instancias aisladas en áreas relativamente pequeñas, en esos casos será necesario emplear los métodos terrestres tradicionales. Los sistemas diferenciales GPS permiten una cobertura mundial, no siempre requieren de un esfuerzo de selección y despliegue del sitio que se necesita para sistemas terrestres, sin embargo sí se requieren aún de cuidadosas calibraciones antes del levantamiento y validaciones post-levantamiento; las exactitudes ahora exceden a las utilizadas en otros sistemas de posicionamiento de levantamientos hidrográficos.

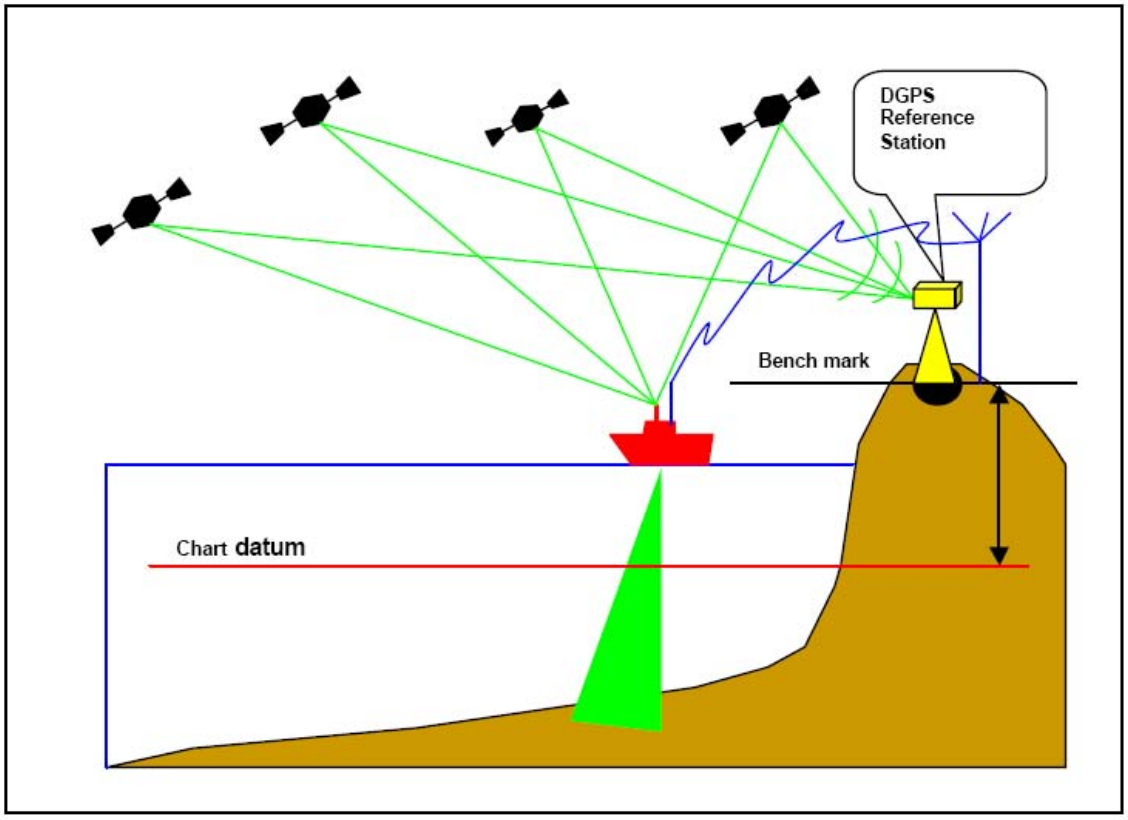


Fig. 7.9 "Posicionamiento diferencial de GPS de una embarcación de levantamiento hidrográfico"

El sistema consiste de dos servicios absolutos de posicionamiento, el Servicio de Posicionamiento Estándar (SPS) y el Servicio de Posicionamiento Preciso (PPS);

a) El SPS está disponible para los usuarios civiles, usando el código C/A en la portadora L1, que suministra exactitudes absolutas de 10-30 metros en el modo de posicionamiento absoluto;

b) El PPS fue desarrollado por los militares de Estados Unidos y otros usuarios autorizados; utiliza el código P(Y) en las portadoras L1 y L2 suministrando una exactitud absoluta de 5-15 metros en el modo de posicionamiento absoluto.

Para muchas aplicaciones, este posicionamiento absoluto no suministra suficiente exactitud. El GPS diferencial (DGPS) es una técnica que puede proveer de posicionamiento relativo con una exactitud de unos pocos metros usando mediciones de código fase para unos pocos milímetros. El DGPS requiere de dos o más receptores GPS que estén registrando las mediciones simultáneamente y de un software de procesado para reducir o eliminar los "errores comunes". Con un sistema de referencia posicionado en un punto conocido de control del levantamiento, los datos del DGPS pueden ser usados para determinar las líneas de base entre las estaciones y establecer las posiciones de otros receptores dentro del mismo sistema de referencia. Los DGPS de fase de código y portadora, cuando operan en un modo diferencial, pueden ser rastreados en tiempo real para el posicionamiento de las plataformas móviles, los dragados, los botes de levantamiento y las embarcaciones (ver Figura 7.9) para proveer información en tiempo real de las exactitudes requeridas para el levantamiento hidrográfico y/o el posicionamiento del dragado.

Técnicas de rastreo (ver párrafo 6.1.4.1 del Capítulo 2)

Las fases de las técnicas de rastreo son:

a) rastreo de fase portadora;
b) rastreo de fase de código.

Exactitudes

Las exactitudes absolutas de las mediciones de rango o desviaciones estándar alcanzables con GPS dependen de:

a) el tipo de código utilizado (C/A o P);
b) un elipsoide de confianza de tres dimensiones (3-D) que describa las incertidumbres en las tres coordenadas geocéntricas, cuando se acopla con el GDOP (Dilución de Precisión Geométrica) de los satélites durante la determinación de la posición;
c) el tiempo y ubicación de la geometría cambiante del satélite.

Las estadísticas nominales de exactitud para un usuario de GPS se definen por las técnicas de propagación de error. Las exactitudes de las mediciones de rango del usuario se refieren a las coordenadas geocéntricas, que pueden transformarse a un datum local, y a una matriz covariante 3-D, que define y evalúa las dimensiones (dirección o coordenadas) del elipsoide de error en el sistema de referencia.

Los métodos más usuales para describir errores de medición son los siguientes:

a) Las exactitudes posicionales de GPS 2-D (horizontal) normalmente te estiman usando una estadística de error radial de Root Mean Square (RMS);
b) Las mediciones de exactitud de GPS 3-D se expresan más comúnmente por el Spherical Error Probable, o SEP. Esta medida representa el radio de una esfera con un 50% de confianza o nivel de probabilidad y la medida radial del esferoide sólo se aproxima al elipsoide 3-D real, lo que representa las incertidumbres en el sistema geocéntrico de coordenadas;
c) Para el posicionamiento horizontal 2-D, el ***CEP*** (Circular Error Probable) se usa comúnmente como la medida de error estadística o probable, representada por el radio de un círculo que contiene un 50% de probabilidad de confianza en la posición;

Comparaciones de exactitud

Es importante que las medidas de exactitud de GPS identifiquen claramente las estadísticas de las cuales se deriva. Una estadística de exactitud de “20 metros” ó “5 metros” no tiene importancia a menos que sea identificado como 1-D, 2-D ó 3-D, junto con un nivel de probabilidad aplicable. Adicionalmente, las exactitudes absolutas de puntos de posicionamiento GPS son definidas como relativas a un sistema/datum de coordenadas centradas en tierra. Este sistema de coordenadas diferirá significativamente de un datum de construcción o proyecto local. Las exactitudes GPS nominales también pueden ser publicadas como límites de diseño o tolerancia, y las exactitudes reales alcanzadas pueden diferir significativamente de estos valores.

Medidas de exactitud relativa

Los levantamientos hidrográficos ejecutados según los Estándares OHI/S-44 tienen que ver con la exactitud posicional mundial (símbolos) absoluta en un nivel de confianza de 95 %, pero normalmente los levantamientos de ingeniería, construcción y dragados tienen que ver con coordenadas de proyectos locales (*X,Y, h),* y con asegurar alta exactitud dentro del proyecto de construcción local. La medida de exactitud relativa se expresa típicamente en partes por millones (ppm) como una función de la distancia entre dos puntos o receptores y usualmente determinado en el nivel de error estándar de un sigma (ó 68% de desviación estándar).

Disolución de Precisión (DOP)

Los errores de GPS que resultan de la configuración geométrica del satélite pueden expresarse en términos de Dilución de Precisión (DOP), que es la fuerza geométrica de la configuración de los satélites observados durante la sesión de levantamiento. En términos matemáticos, la DOP es una cantidad escalar usada en una expresión de un ratio de la exactitud posicional (o la desviación estándar de una coordenada para la medición de exactitud). La DOP representa la contribución geométrica de un cierto factor escalar a la incertidumbre (esto es desviación estándar) de una medición GPS. En un posicionamiento 2-D (horizontal) esto se refiere al factor HDOP.

Datum de referencia

En los métodos generales de levantamiento diferencial se tiene que ver con las diferencias de coordenadas relacionadas y para propósitos de navegación debemos considerar variaciones dentro del sistema de referencia global usado por el GPS NAVSTAR. Así, las diferencias de coordenadas GPS o las transformaciones desde el Sistema Geodésico Mundial 84 (WGS 84, por sus siglas en inglés) el sistema de referencia debe ser aplicado a cualquier tipo de datum de referencia local. En el continente norteamericano las coordenadas de WGS 84 son altamente consistentes con el Datum Norteamericano 83. El Marco de Referencia Terrestre Europeo (ETRF89, por sus siglas en inglés) es una realización del WGS 84 (Sistema Geodésico Mundial) para el continente europeo. Cada país en Europa ha determinado su propia transformación para enlazar e ETRF al datum local.

Fuentes de error (ver párrafo 6.1.3 del Capítulo 2) **y los requerimientos de calibración**

La exactitud del GPS es una función de errores e interferencias en la señal del GPS y la técnica de procesado usada para reducir y remover esos errores. Similar a los sistemas de microondas rango-rango, las señales de GPS se ven altamente afectadas por la humedad y las multi-rutas; los errores adicionales son causados por los 20.000 kilómetros de distancia a través de las capas de la ionosfera y la troposfera. Se debería recordar que las señales de satélites pueden ser alteradas por razones de seguridad nacional estadounidenses para el uso de Anti Spoofing (AS). Las técnicas diferenciales cercanas a la estación de referencia pueden eliminar la mayoría de esos errores, sin embargo, mientras más remoto se opere de la estación de referencia, menos similares serán los errores recibidos por ambos receptores.

La operación DGPS no ha prescrito los requerimientos de calibración (revisar lista); a diferencia de los sistemas de microondas o R/A; los principales errores a chequear son:

a) datum de proyecto incorrecto o datum de referencia geodésico;
b) valores de coordenadas de estación master incorrectos;
c) medida incorrecta de los valores de la altura de la antena;
d) modo DGPS no seleccionado en la unidad;
e) formato RTCM-104 input/output no seleccionado.

Métodos de posicionamiento

Los dos métodos operativos generales, usados para obtener posiciones GPS para control dinámico horizontal, tienen una variedad de aplicaciones para los levantamientos hidrográficos en el mar:

a) posicionamiento de punto absoluto;
b) posicionamiento relativo (DGPS)

En general, el posicionamiento de punto absoluto involucra sólo un receptor pasivo y no es lo suficientemente exacto para levantamientos precisos o los requerimientos hidrográficos de posicionamiento. Sin embargo, es el más ampliamente usado por los métodos de posicionamiento GPS militares (PPS) y comerciales (SPS). El posicionamiento relativo (diferencial) requiere de al menos dos receptores y puede suministrar las exactitudes requeridas para levantamientos terrestres básicos y posicionamiento costa afuera.

Posicionamiento de Punto Absoluto (Pseudo rango)

El receptor GPS genera una solución de navegación por pseudo rango, que mide una distancia aproximada entre la antena y el satélite para la correlación de un código transmitido por satélite y un código de referencia creado por el receptor. La distancia que ha viajado la señal es igual a la velocidad de la transmisión desde el satélite multiplicado por el tiempo transcurrido de transmisión. Los retrasos adicionales (errores), que pueden afectar la exactitud posicional, son causados por las condiciones de la troposfera y la ionosfera. Para crear una posición GPS 3-D, al menos se requieren de cuatro observaciones pseudo rango para resolver las desestabilizaciones constantes del reloj *(t)* contenidas tanto en los receptores en tierra como en el satélite.

La solución de cuatro ecuaciones de observación pseudo rango, que contienen cuatro desconocidos (*X, Y ,Z y t),* da la solución para la posición 3-D de un punto (para una localización 2-D sólo se necesitan tres observaciones de pseudo rango), y depende altamente de las siguientes exactitudes:

a) la exactitud de las coordenadas conocidas de cada satélite (ej. *X, Y y Zs);*
b) la exactitud de los retrasos atmosféricos modelados *(d)*;
c) la exactitud de la resolución del proceso real de medición de tiempo ejecutado en un receptor GPS (sincronización de reloj, procesado de señal, ruido de la señal, etc.);
d) la exactitud de una posición absoluta del punto es una función de la exactitud de la medición de rango y la geometría de los satélites (DOP).

La Disolución de la Precisión (DOP) es una descripción de la contribución geométrica a la incertidumbre en una posición punto determinada de GPS y se relaciona aproximadamente a la orientación física de los satélites relacionados al receptor en tierra junto con la exactitud de medición del rango.

Solución estática - como con cualquier proceso de medición, las observaciones repetidas y redundantes del rango para los satélites en orientaciones variables mejorarán la exactitud y confiabilidad posicional general. En el modo estático con una antena GPS estacionaria, las mediciones de rango para cada satélite pueden ser continuamente medidas sobre las órbitas variables del o los

satélites. El alterar las órbitas de los satélites crea una geometría cambiante de la intersección posicional sobre la misma posición en tierra. Además, observaciones simultáneas del rango para varios satélites puede ajustarse usando técnicas de ponderación basadas en la fuerza de la intersección y la confiabilidad de la medición de pseudo rango.

Solución dinámica - En un modo dinámico donde la antena del GPS se está moviendo, las mediciones del rango para cada satélite son únicas debido a la alteración de las localizaciones orbitales del satélite (s). Las órbitas variables del satélite y la velocidad de la embarcación causan cambios en la geometría de la intersección posicional sobre la posición móvil de la antena de GPS.

El sistema de satélite NAVSTAR GPS ofrece dos niveles de exactitud absoluta de la posición:

a) *Servicio de Posicionamiento Estándar (SPS).* El SPS es capaz de alcanzar una información posicional absoluta en 3-D en tiempo real en el orden de 10-30 m (95% de nivel de confianza en exactitud horizontal). El Departamento de Defensa de Estados Unidos ha implementado el Anti-Spoofing (AS), que intercambia el código P con un código clasificado Y, y de esa manera niega al usuario de SPS una exactitud de código P más alta;

b) *Servicio de Posicionamiento Preciso (PPS).* Los usuarios no militares de PPS deben ser autorizados por el Departamento de Defensa estadounidense para tener un dispositivo de decodificación capaz de descifrar las señales GPS encriptadas. Esta autorización debe obtenerse de la Agencia de Seguridad Nacional (NSA). USACE es un usuario autorizado, sin embargo, el uso real del equipo tiene implicaciones de seguridad. Los usuarios de PPS pueden obtener una exactitud posicional 3-D absoluta en el orden de 16 metros SEP (ó 5-15 metros en nivel de confianza en exactitud horizontal).

Las acciones de seguridad del Departamento de Defensa de Estados Unidos no impactan significativamente a un usuario hidrográfico que opere en un modo de posicionamiento diferencial.

La posición absoluta (SPS/PPS) solo provee de exactitudes posicionales absolutas en tiempo real y no satisfará los requerimientos de levantamiento hidrográficos OHI/S-44 para la Orden Especial y la Orden 1. Sí tiene aplicaciones generales para la navegación y eventualmente reemplaza al LORAN-C y otros sistemas de navegación para barcos y aeronaves.

Posicionamiento diferencial de un punto (DGPS)

El posicionamiento diferencial es la técnica utilizada para posicionar un punto en relación a otro, y ambos reciben estaciones que simultáneamente observan los mismos satélites. En vista de que los errores en la posición satelital (*Xs, Ys y Zs)* y las estimaciones de retraso atmosférico son efectivamente las mismas, pueden ser ignoradas en gran medida. Este método puede ser ejecutado al usar mediciones de fase portadora o de código y puede suministrar resultados en tiempo real o post procesados.

a) *Rastreo de Fase de Código DGPS.* La técnica consiste de dos receptores GPS, uno establecido sobre un punto conocido y uno moviéndose de punto a punto o colocado en una embarcación móvil de levantamiento, que mide los pseudorangos para al menos cuatro satélites comunes. En vista de que las posiciones de los satélites son conocidas y uno de los receptores está sobre un punto fijo conocido, se puede computar una “distancia conocida” para cada satélite observado. Esta “distancia conocida” puede entonces compararse contra la “distancia medida” (o pseudo rango) para obtener un Pseudo Range Correction (PRC), el cual es computado para cada satélite que es rastreado en el punto fijado. Cada PRC puede por tanto ser aplicado al receptor remoto o en movimiento para corregir las distancias medidas. El rastreo de la fase de código tiene aplicaciones primarias a los sistemas de posicionamiento en tiempo real con exactitudes a nivel de

metros. Es suficiente para el posicionamiento de un levantamiento hidrográfico que cumple con los requerimientos de OHI S-44 para los levantamientos de Orden 1, ya que el posicionamiento a nivel de metros es suficiente para la amplia mayoría de estos propósitos.

b) *Rastreo de Fase Portadora DGPS.* Esta es la técnica de levantamiento GPS más precisa y las exactitudes posicionales relativas están en el orden de dos a cinco partes por millón (ppm) entre los dos receptores GPS (uno en el punto de referencia conocido y el otro en una ubicación desconocida o a bordo de una plataforma en movimiento). Los métodos de rastreo usan una formulación especial de pseudorangos utilizados en los sistemas de rastreo de fase de código descritas anteriormente, pero con un proceso más complejo cuando las señales portadoras son rastreadas. La longitud de onda corta (19 cm) necesita el sumar un factor de ambigüedad a la ecuación de solución para tomar en cuenta el número desconocido de todos los ciclos portadores sobre el pseudo rango. El rastreo de la fase portadora provee de una resolución de rango más exacta debido a la longitud de onda corta (19 cms) y la capacidad de un receptor de reducir la fase portadora a cerca de 2 mm., este método se le conoce como kinematic en tiempo real o RTK y ofrece exactitudes posicionales en 3-D a unos pocos centímetros sobre rangos de hasta aproximadamente 20 kilómetros. Se aplica a los posicionamientos de levantamientos hidrográficos y cumple con los requerimientos S-44 de la OHI para los levantamientos de Orden Especial y pueden emplearse con receptores estáticos o kinemáticos.

c) *Ventaja* de la fase de código (DGPS) sobre la fase portadora (RTK):

i. Las longitudes de onda son mucho más lagas que las longitudes de onda portadora, lo que elimina el problema de la ambigüedad.

d) *Desventajas* de la fase de código (DGPS) sobre la fase portadora (RTK):

i. Las longitudes de onda más largas disminuyen la exactitud del sistema;
ii. Las longitudes de onda más largas se ven más afectadas por las múltiples trayectorias de las señales.

Sistema de posicionamiento DGPS dinámico en tiempo real (Fase de código)

El sistema en general incluye:

a. Equipamiento de estación de referencia (maestro);
b. Enlaces de comunicaciones;
c. Equipos de estaciones exploradoras (usuario remoto).

Estos son varios de los servicios DGPS que proveen correcciones de pseudorangos en tiempo real:

a. Servicios de navegación de radiofaro (Sistema Beacon IALA);
b. Servicios comerciales de suscripción de satélites;
c. Servicios de redes comerciales DGPS basados en tierra (enlaces telefónicos o de teléfonos móviles);
d. Sistemas locales de DGPS.

Los sistemas locales de DGPS normalmente son instalados o usados por la agencia responsable de un levantamiento donde otros servicios no proveen de cobertura o una exactitud lo suficientemente buena para cumplir con los requerimientos del levantamiento.

Estación de referencia

Los receptores de referencia consisten de un receptor GPS, antena y procesador que:

a. Se colocan en una estación de coordenadas conocida con una visión del cielo sin obstrucción desde al menos 10 grados por encima del horizonte;
b. La antena GPS debe ser erigida sin objetos que probablemente causen múltiples trayectorias o interferencias (evite áreas con antenas, torres microondas, líneas eléctricas y superficies reflectoras);
c. Mida el tiempo y la información de rango transmitida por los satélites;
d. Compute y formatee, cada 1 a 3 segundos, las correcciones de pseudorangos (PRC) y luego transmita, a través del enlace de comunicaciones, al equipo del operador en la embarcación costa afuera; el formato recomendado de datos es el propuesto por el Comité Especial 104 v 2.0 de la Comisión Radio Técnica para Servicios Marítimos (RTCM por sus siglas en inglés);
e. Realice funciones de CC y determine la validez y calidad de las PRCs computadas.

Enlaces de comunicaciones

a. Los enlaces de comunicaciones se usan como un medio de transferir las correcciones diferenciales, el tipo es dependiente de los requerimientos del usuario y el ritmo mínimo de transmisión debería ser de 200 bits por segundo (bps);

b. Los enlaces de comunicaciones que operan en Very High Frecuency (VHF), Ultra High Frequency (UHF) y High Frecuency (HF) son sistemas viables para la transmisión de correcciones DGPS, con rangos que se extienden desde 20 a 50 kms (VHF/UHF) y hasta 200 kms (HF), dependiendo de las condiciones locales de propagación y la elevación del sitio. Las desventajas de los enlaces UHF y VHF son que su rango se restringe a la línea de visión y los efectos de la señal se obscurecen desde las islas, las estructuras y edificios, las múltiples trayectorias y los problemas de licencia;

c. Los enlaces de comunicaciones requieren de una frecuencia reservada de operaciones para evitar interferencias con otras actividades en el área, todas las frecuencias necesitan autorización para su uso dentro de cada área geográfica de responsabilidad de los países;

d. Varias compañías ofrecen suscripciones para comunicaciones de satélites, sistemas de comunicaciones telefónicas o de telefonía móvil, capaces de ser usadas para la transmisión de PCRs;

e. Los sistemas de comunicaciones telefónicos y de satélite son menos limitados en rango que los sistemas UHF/VHF, pero usualmente son más costosos.

Equipo del usuario

Al usar la tecnología de pseudo rango diferencial, la posición de una nave de levantamiento puede calcularse en relación a la estación de referencia con un receptor (el equipo del usuario) que consiste de un rastreador de fase de código DGPS, una antena y un procesador que:

a. Debería ser un receptor multicanal de una sola frecuencia (L1) de GPS de código C/A;
b. Sea capaz de recibir las correcciones diferenciales desde el enlace de comunicaciones en el formato SC-104 V 2.0 RTCM y luego aplicar esas correcciones a los pseudorangos medidos;
c. El ritmo de actualización del receptor sea de 1 a 3 segundos;

d. La salida desde el receptor explorador sea en el formato NMEA-183 como el formato más ampliamente usado para a entrada en los paquetes de software del levantamiento hidrográfico;
e. El equipo sea capaz de mantener tolerancias posicionales para los levantamientos en velocidad de hasta 10 nudos;
f. Los receptores no distorsionen la posición durante las vueltas de la embarcación debido a un exceso de filtro.

Distancias de separación

a. Las correcciones diferenciales de la troposfera y la ionosfera no se aplican a las soluciones internas de la mayoría de los receptores GPS y esos errores contribuyen a errores de posición horizontal en promedio de 0,7 m por cada 100 kilómetros;
b. El tipo de enlace de datos en uso serán un factor limitante en la distancia de separación entre la estación de referencia y el receptor móvil, la estación de referencia necesitaría ser trasladada desde un punto a otro para que así se mantengan los requerimientos mínimos de separación.

Geometría de satélite

La Dilución Horizontal de la Posición (HDOP) es el componente geométrico crítico para que:

a. En la Orden 1 y 2 se levante HDOP <5;
b. La constelación de satélites GPS 24 Block II mantenga un HDOP de aproximadamente 2 a 3 la mayoría del tiempo.

Otros servicios DGPS (Servicio de Navegación de Radiofaro y Comercial WAAS)

Servicio de Navegación de Radiofaro

La función principal del Servicio de Navegación de Radiofaro es el proveer de ayuda a la navegación en aguas navegables cubiertas por el servicio; el objetivo es sustituir los sistemas Loran-C y Omega, los cuales fueron usados como los principales sistemas de navegación para la navegación marina costa afuera, con cobertura completa desde GPS para un posicionamiento más exacto. Muchos países han pedido sistemas de posicionamiento en tiempo real para sus áreas costeras, ríos y regiones lacustre, utilizando tecnología de radiobaliza marina y DGPS. Existe un deseo de otros gobiernos marítimos de expandir la cobertura a todas las vías navegables costa afuera y eventualmente tener una cobertura mundial total.

a) Establecimiento y configuración del sistema:

   i. Radiofaro GPS:
      - Receptores de estación de referencia geodésica N. 2 GPS L1/L2 con antenas geodésicas independientes para proveer de redundancia y un transmisor radiofaro marino con antena de transmisión;
      - Receptores de N.2 combinado L1 GPS/Modulation Shift Key usados como monitores integrados, cada uno utiliza una antena GPS independiente y una antena de cuadro pasiva cerca del campo MSK.

b) Ubicación del sitio :

   i. La ubicación de las antenas GPS de las estaciones de referencia son puntos de control geodésico conocidos basados en la ITRF [ej: ETRF (siglas en inglés del Marco de Referencia Terrestre Europeo), datum para Europa y el NAD 83 (Datum Norteamericano 1983) para EEUU y Canadá] ;

ii. Las correcciones de pseudo rango código GPS C/A son computadas y transmitidas vía radiofaro marino;
iii. El sistema a bordo del barco del usuario consiste de un receptor de radiofaro marino y un receptor GPS (o un receptor integrado GPS/Radiofaro) con la capacidad de aceptar y aplicar correcciones de pseudo rango, con exactitudes de menos de 5 m que se alcanza dependiendo del tipo y calidad del receptor de GPS del usuario, la distancia desde la estación de referencia y la geometría satelital.

c) Transmisión de datos (tipos de datos):

i. Las correcciones y otras informaciones son transmitidas usando el mensaje Tipo del formato de datos versión 2.1 del Comité Especial 104 de la Comisión Radio Técnica para Servicios Marítimos (RTCM SC-104);
ii. Descripciones más detalladas de estos tipos de mensajes se explican en el Estándar de Transmisión disponible para el Servicio de Navegación de Radiofaro para cada país;
iii. Las correcciones son generadas para un máximo de nueve satélites rastreados por el receptor GPS de la estación de referencia en un ángulo mínimo de elevación de 7,5 grados por encima del horizonte; si se observan más de nueve satélites por encima de 7,5 grados, las correcciones están basadas en los nueve satélites con los ángulos de elevación más altos;
iv. Los satélites por debajo de la elevación de 7,5 grados se ensombrecen debido a su susceptibilidad a las multitrayectorias y decorrelaciones espaciales;
v. Las correcciones normalmente te transmiten en un ritmo de 100 a 200 (baudio);
vi. Las correcciones pueden ser consideradas válidas por un período de 15 segundos desde la generación;
vii. El usar correcciones de más de 30 segundos de antigüedad, particularmente para el posicionamiento de una plataforma en movimiento, puede causar picos.

d. Disponibilidad y confiabilidad del sistema:

i. El sistema mantiene una disponibilidad de transmisión que excede el 99,7%, en áreas de cobertura diseñada, al asumir una constelación GPS completa y buena;
ii. La disponibilidad de la señal, en la mayoría de las áreas, será más alta debido a una sobre posición de estaciones de transmisión;
iii. Cada sitio está equipado con dos monitores integrados (ej. Un receptor GPS con un radiofaro MSK) que están montados sobre posiciones conocidas, que reciben las correcciones de pseudo rango desde ese sitio y computan una posición que se compara a la ubicación conocida para determinar si las correcciones están dentro de la tolerancia prevista;
iv. Las posiciones corregidas calculadas por los monitores integrados se envían a través de líneas telefónicas a las estaciones de monitoreo de control, que notifican a los usuarios vía el tipo de mensaje 16 de cualquier problema con un sitio de radiofaro dentro de 10 segundos de una condición fuera de tolerancia.

e. Cobertura:

i. Se puede hallar un mapa actualizado de cobertura en el sitio de Internet del Servicio de Navegación de radiofaro de cada país participante, bajo la sección DGPS.

f. Requerimientos y equipos del usuario:

i. Para recibir y aplicar las correcciones de pseudo rango generadas por la estación de referencia, el usuario necesita tener un receptor de Radiofaro MSK con una antena y, como mínimo, un receptor GPS código L1 C/A con una antena, o una combinación de receptor GPS y radiofaro MSK con una antena combinada MSK y GPS, la cual es una opción más costosa.

El receptor MSK desmodula la señal desde la estación de referencia y generalmente seleccionará en forma automática la estación de referencia con la señal más fuerte para rastrear o permitirá al usuario para seleccionar una estación de referencia específica. Ya que la estación de referencia genera correcciones sólo para satélites por encima de una elevación de 7,5 grados, los satélites observados por el receptor GPS del usuario por debajo de una elevación de 7,5 grados no serán corregidos.

g. Chequeos y calibraciones de tolerancia de posición CC:

i. Los sistemas más precisos de aumento DGPS son capaces de proveer exactitudes sub-metro a distancias razonables desde la estación de referencia más cercana, sin embargo, en errores de descorrelación espacial en distancias crecientes (debido a condiciones diferentes ionosfera/troposfera) se pueden inducir distorsiones posicionales sistemáticas;
ii. En general, bajo condiciones atmosféricas nominales, se puede alcanzar una exactitud posicional de menos de 5 m RMS (95%) en distancias hacia arriba de 200 millas;
iii. Para confirmar que la exactitud posicional es mejor de 5 m de tolerancia, se debería obtener un chequeo de posición estática al ocupar un punto de levantamiento conocido cerca del área del proyecto;
iv. Cuando se opere con el Servicio de Navegación de Radiofaro, las posiciones estáticas deberían observarse desde diferentes estaciones de referencia de radiofaro para asegurar si existen distorsiones posicionales sistemáticas, en la práctica la baliza más cercana normalmente tendrá distorsiones mínimas;
v. Cuando ocurran distorsiones posicionales ambiguas o grandes en un área del proyecto, será necesario establecer una red local DGPS (de código o portadora RTK) para observar las diferentes posiciones de la baliza en una comparación estática;
vi. Se debería realizar un proceso similar cuando se usen Sistemas Comerciales de Aumento de Áreas Amplias DGPS (WAAS, GLONAS, EGNOS, GALILEO, MSAS, etc.).

DGPS RTK Dinámico en tiempo real (Fase portadora)

General

La fase portadora DGPS es capaz de rendir una exactitud decímetro en una embarcación en movimiento dentro del área geográfica (20 kms.), tanto horizontal como verticalmente. Esta tecnología, conocida como “En el vuelo”, puede proveer elevaciones en tiempo real de embarcaciones de levantamiento.

Las actuales técnicas Kinemáticas permiten que las ambigüedades sean resueltas mientras el receptor está en movimiento y provee exactitudes en el rango desde 2 a 5 cms. Este método de posicionamiento de fase portadora se refiere comúnmente a un levantamiento RTK o kinemático en tiempo real.

Un sistema de posicionamiento DGPS kinemático en tiempo real (RTK) está basado en la tecnología de fase portadora DGPS similar a las técnicas Kinemáticas actualmente usadas para levantamientos geodésicos estáticos GPS donde se alcanzan exactitudes a nivel milimétrico. Los procedimientos RTK permiten el movimiento de un receptor GPS después que la ambigüedad entera (ej. Números completos de longitud de ondas) entre los satélites y los receptores ha sido resuelta, como se subrayó en el Capítulo 2.

Elevaciones de exactitud en tiempo real (y las profundidades relacionadas al alto de la antena GPS) pueden obtenerse directamente sin observar los datos de medición de las mareas, si se usan adecuados sensores de compensación de movimiento y se han emprendido modelos de proyecciones de datum de mareas. (Ver Figura 7.10)

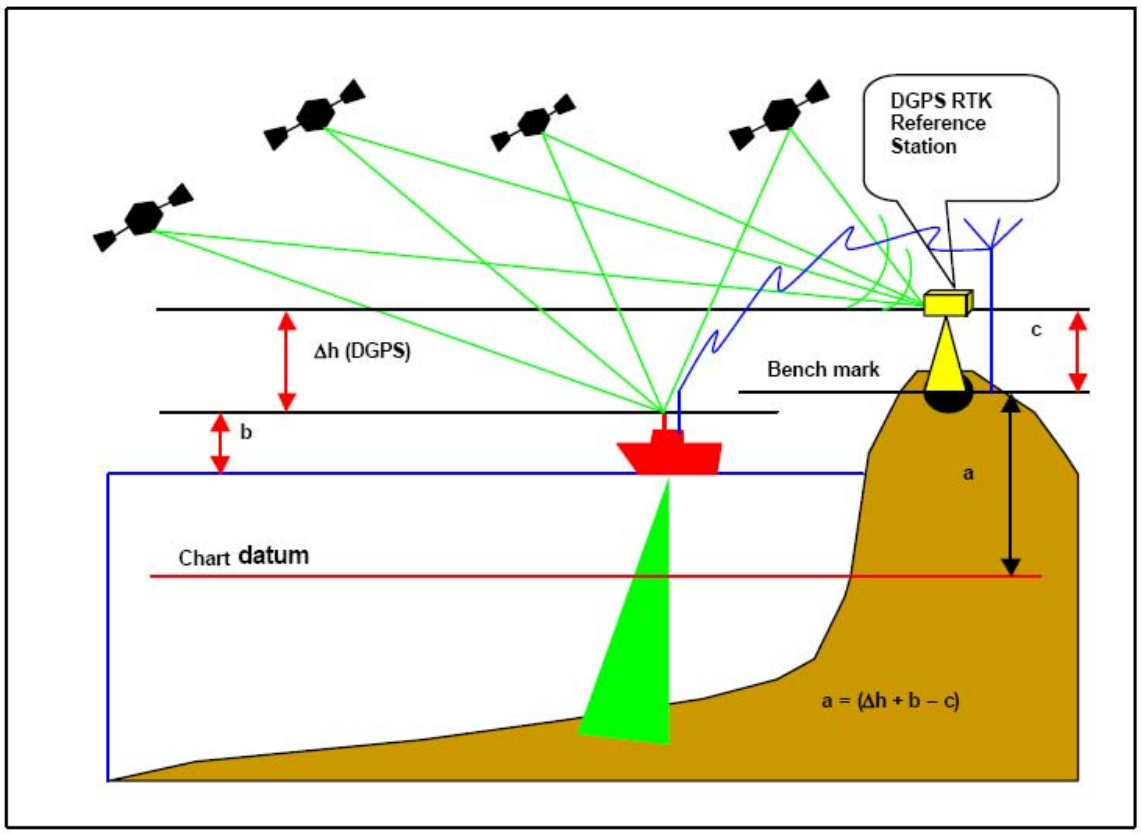


Fig. 7.10 "Principios de la determinación de la elevación GDPS Kinemático en Tiempo Real"

Si las elevaciones son obtenidas a través de la utilización de técnicas RTK DGPS, los modelos geoidal-elipsoidal y los procedimientos de modelación de mareas son mandatarios y deberían realizarse antes de que los levantamientos RTK puedan ser conducidos.

Estación de referencia

El sistema de posicionamiento de la fase portadora es muy similar a la tecnología actual de rastreo de fase de código. Una estación de referencia GPS en la costa se localiza sobre una marca de levantamiento conocida atada a un marco de referencia geodésica local horizontal/vertical; sin embargo, la estación de referencia debe ser capaz de recolectar tanto datos de fase portadora como geodésica desde los satélites GPS y consistirá de:

a. Un receptor de código fase de frecuencia dual capaz de una longitud de onda completa L1/L2 con técnica de correlación cruzada durante períodos de rastreo de encripción código P;
b. Un receptor explorador GPS con su antena y cables asociados, un procesador de alta velocidad y enlaces de comunicaciones capaces de, al menos, un ritmo de actualización de 1 segundo;
c. La ubicación será la misma que la del sistema de rastreo fase de código DGPS;
d. El procesador computará las correcciones de pseudo rango y fase portadora y formateará los datos para los enlaces de comunicaciones;
e. Las correcciones serán formateadas en el formato RTCM SC-104 v.2.1 (CMR) para la transmisión al receptor explorador.

Enlace de comunicaciones

a. El sistema de posicionamiento de fase portadora requiere un ritmo mínimo de datos de 4800 baudios y difiere en el volumen de los datos que tienen que ser transmitidos desde el sistema de rastreo de fase de código DGPS, que requiere un ritmo de 300 baudios;
b. Esta alta tasa de datos limita el área de cobertura para los sistemas de transmisión a alta frecuencia;
c. Los sistemas de comunicaciones de frecuencia VHF y UHF son adecuados para este ritmo de datos.

Equipo del usuario

El equipo del usuario en la embarcación de levantamiento es:

a. Un receptor GPS de fase de código de longitud de onda completa L1/L2 de frecuencia dual con un procesador incorporado capaz de resolver las ambigüedades enteras mientras la embarcación está en camino;
b. Una antena geodésica asociada de GPS, que reduce los efectos de multitrayectorias en la señal de GPS;
c. Un enlace de comunicaciones para recibir los datos desde la estación de referencia;
d. El ritmo mínimo de actualización desde la estación de referencia a la (s) embarcación (es) debería ser de 1 segundo;
e. La posición output de los datos de la fase portadora (NMEA 183) de DGPS debería permitir la actuación de navegación y registro en tiempo real de la verdadera posición del barco que se necesita para el procesado del levantamiento.

Los sistemas RTK no están diseñados para ser usados para levantamientos más allá de 20 kilómetros desde la estación de referencia.

Resolución de ambigüedades

a. Si el sistema permanece en el modo RTK, el posicionamiento subdecimetro 3D en tiempo real debería estar disponible desde el receptor explorador;
b. Los receptores de la estación de referencia y de la estación remota deben mantenerse cerrados (datos GPS continuos) en al menos cuatro satélites;
c. Si el número cae por debajo de cuatro satélites, las ambigüedades serán resueltas de nuevo después de que el sistema readquiera el cerrar una cantidad suficiente de satélites, el sistema trabajará en modo DGPS o modo Autónomo durante este período.

4.2 Control vertical y calibración

4.2.1 Descripción general

El datum al cual serán reducidas las profundidades es fundamental para cualquier levantamiento batimétrico y las Especificaciones Hidrográficas contendrán detalles completos de cómo se establecerá esto junto con los detalles de los pilares de nivelación. Si el datum no está definido, la carta del geoide debería ser usada si es posible.

La necesidad de establecer ya sea un nuevo datum o transferir el datum se debe considerar cuidadosamente, cualquier datum nuevo o transferido debe estar relacionado al datum del levantamiento local a través de pilares nuevos o existentes, de los cuales se deberían registrar detalles completos y presentarlos a la Oficina Hidrográfica. Se requiere de especial cuidado a los levantamientos en ríos y estuarios de ríos; la guía está disponible en el volumen 2 del Admiralty Tidal Hanbook.

Al usar los datos suministrados con las Especificaciones Hidrográficas, se debería determinar la ubicación de las estaciones de mareas. Si se conduce un relevantamiento, la estación de mareas debe establecerse en la posición de la antigua estación, si es posible. Si se requieren de múltiples estaciones la distancia entre ellas no debería ser demasiado grande y en cualquier caso, no mayor de 10 millas. Las Especificaciones Hidrográficas proveerán las directrices en el lugar de las mediciones costa afuera.

Los datos para asistir en la creación de una carta de co-mareas serán incluidos en las Especificaciones Hidrográficas. Las cartas de co-mareas y co-rangos deberían producirse como está descrito en el Capítulo 5.

La escala mereométrica y mareógrafos precalibrados deberían establecerse en las ubicaciones deseadas. La escala mereométrica deberían estar conectados al datum de sondaje a través del sistemas de nivelación terrestre y las marcas testigo instaladas como medios futuros de rápidos chequeos visuales de la integridad de la escala. Si no hay pilares de nivelación disponibles, por la razón que sea, se deben establecer al menos dos nuevas marcas y sus detalles deben ser completamente registrados.

Se deberían tomar más de 25 horas de comparaciones de lecturas de mareógrafos y de escala mereométrica para establecer el datum de sondaje en la medición y para asegurar su correcta operación. Se deberían realizar chequeos posteriores en intervalos regulares durante el levantamiento.

Se debe conducir un cálculo del Nivel Medio del Mar (NMM) usando 39 horas de observación en el comienzo y el final del levantamiento. Debido a las influencias atmosféricas y climáticas diarias, los resultados deberían estar dentro de 0,3 metros de NMM citado en las Tablas de Mareas, que proveerá confianza adicional en los datos de mareas observados.

Cuando se usa una medición establecida, la configuración siempre debe chequearse independientemente para asegurar que el cero corresponde a la cifra indicada.

Los datos de mareas observados deben ser inspeccionados cada día para asegurar que las observaciones cumplen los estándares de las Especificaciones Hidrográficas. Se debería obtener, cuando sea posible, lecturas continuas de mareas para toda la duración del levantamiento. Donde no se obtengan lecturas continuas, se debe tomar especial cuidado en el período de inicio y final de cada levantamiento con las diferencias horarias de co-mareas, para asegurar que los datos de mareas cubiertos cubren las operaciones de sondaje.

4.2.2 Modelado de mareas para levantamientos RTK

El área de levantamiento debe tener detalles de datum de mareas apropiado para cumplir con los requerimientos del proyecto a ser desarrollado. La razón para establecer un datum de mareas en el área de levantamiento es para actualizar el conocimiento del Datum MLLW (o Carta) y para permitir los beneficios de la tecnología DGPS RTK a ser llevada a cabo al realizar el levantamiento sin usar las mediciones de mareas.

Los principales requerimientos son:

a. Realizar levantamientos estáticos GPS de áreas amplias en la zona seleccionada;
b. Instalar suficientes mareógrafos en el área para obtener detalles del datum de mareas en esos sitios de medición computados en forma de largos períodos de datos de observación;
c. Realizar mediciones GPS de mareas en el área de levantamiento al mismo tiempo para obtener un conjunto de datos comparables de mediciones GPS de agua contra las mediciones convencionales de mareógrafos;

d. Anclar una embarcación de levantamiento que se adecue a un Receptor Explorador RTK para períodos de 25 horas en ubicaciones suficientes para generar puntos intermedios de datum dentro del área, y así permitir la correlación entre los métodos mareógrafos convencionales y el método de datum de mareas de GPS, y para chequear cualquier cambio en las alturas elipsoidales entre las estaciones RTK y los sitios de medición sobre un ciclo completo de mareas de 28 días;
e. Usar una configuración de software adecuada en el paquete de levantamiento hidrográfico el cual tiene en cuenta los valores de separación elipsoide para MLLW a ser usados para computar las medidas de altura de mareas desde la línea de flotación de la embarcación de levantamiento.

Toda el área de proyecto debe estar relacionada a las mediciones de mareas desde el mareógrafo principal más cercano usado para medir el Mean Lower Low Water (altura media de las mayores bajamares) para el área, también se necesita una referencia para incorporar las mediciones de datum de mareas realizadas en el área de levantamiento. El marco de referencia elipsoide de GPS y el datum vertical local deben ser usados en toda el área de levantamiento.

Diagramas de Datum de Mareas

Se pueden hacer dos datos de mareas diferentes:

a. Una relación tradicional de mareas para el área está representada por la altura media de las mayores bajamares de la superficie de mareas relacionada al datum vertical, el cual debe suministrar la referencia MLLW con una tolerancia aceptable (estándar S-44) y teóricamente debería estar paralelo a la superficie de referencia geodésica en ausencia de corrientes;
b. Un diagrama elipsoidal de datum de mareas para el área está representada por el MLLW de superficie de mareas de GPS Kinematic obtenido desde los valores de altura elipsoidal.

Los valores de Superficie de Altura Elipsoide y la estación de referencia GPS usadas para medir la separación elipsoide-MLLW permite a los levantamientos hidrográficos GPS Kinematic ser conducidos sin la utilización de mareógrafos.

Ubicación de la Estación de Referencia GPS

Se debe establecer una estación de referencia GPS (Figura 7.11) permanente cerca de la línea de costa para los levantamientos hidrográficos en bahías y áreas relacionadas de entradas de canales. Una antena de altura $\boldsymbol{h_1}$ en metros (negativo) debería introducirse en el receptor GPS durante los levantamientos hidrográficos GPS. Si la antena de la estación de referencia GPS se mueve, el valor es inválido. Si la antena debe moverse, la diferencia vertical $\boldsymbol{\Delta H}$ entre el fondo de la antena y la marca de referencia debe ser remedida y confirmar que la marca está por debajo del elipsoide (la altura del elipsoide $\boldsymbol{h_2}$ en metros). Se deben realizar nivelaciones desde la marca a través de la antigua y la nueva ubicación de la antena.

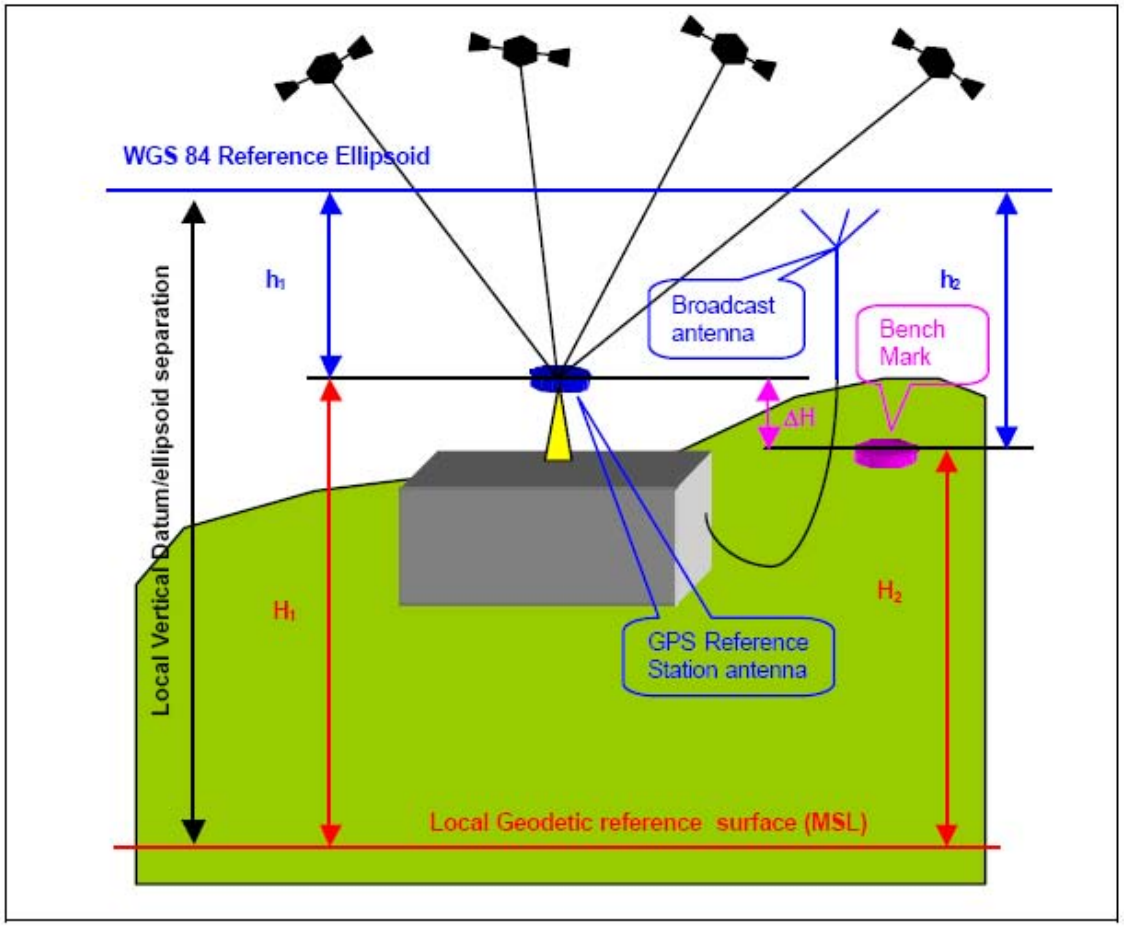


Fig. 7.11 "Parámetros de la estación de referencia RTK DGPS"

h_1 = altura elipsoide de la antena GPS por debajo de la superficie Elipsoide WGS 84
h_2 = altura elipsoide de la marca por debajo de la superficie Elipsoide WGS 84
H_1 = altura ortométrica de la antena GPS por encima de la superficie de referencia Geodésica Local (VD)
H_2 = altura ortométrica de la marca de la superficie de referencia Geodésica Local (VD)
ΔH = diferencia vertical entre el fondo de la antena GPS y la marca de referencia medida por nivelación geométrica

Exactitud de Elevación resultante RTK DGPS

La exactitud absoluta de proyección resultante te estima sea menos de 10 cms. La exactitud absoluta se refiere al MLLW relativa al datum vertical de referencia Geodésica Local. Se debería intentar un modelo de proyecto local de la separación elipsoide-geoide para el estudio. Se debería usar un programa informático adecuado para introducir las posiciones horizontales levantadas para computar las separaciones de referencia Geodésica Local/elipsoide WGS 84.

Mediciones Real Time Kinematic en el mar

La medición fase cero de la antena GPS bajo la línea de flotación de la embarcación es la medición vertical más importante en el barco de levantamiento. En una condición estática, la medición, es como se muestra en la Figura 7.12. El movimiento del barco a través del agua cambiará estas cifras, sin embargo el asentamiento de la embarcación no está introducido como una corrección en el sistema del levantamiento ya que la profundidad transductor está reducida por la misma cantidad que la altura de la antena está reducida.

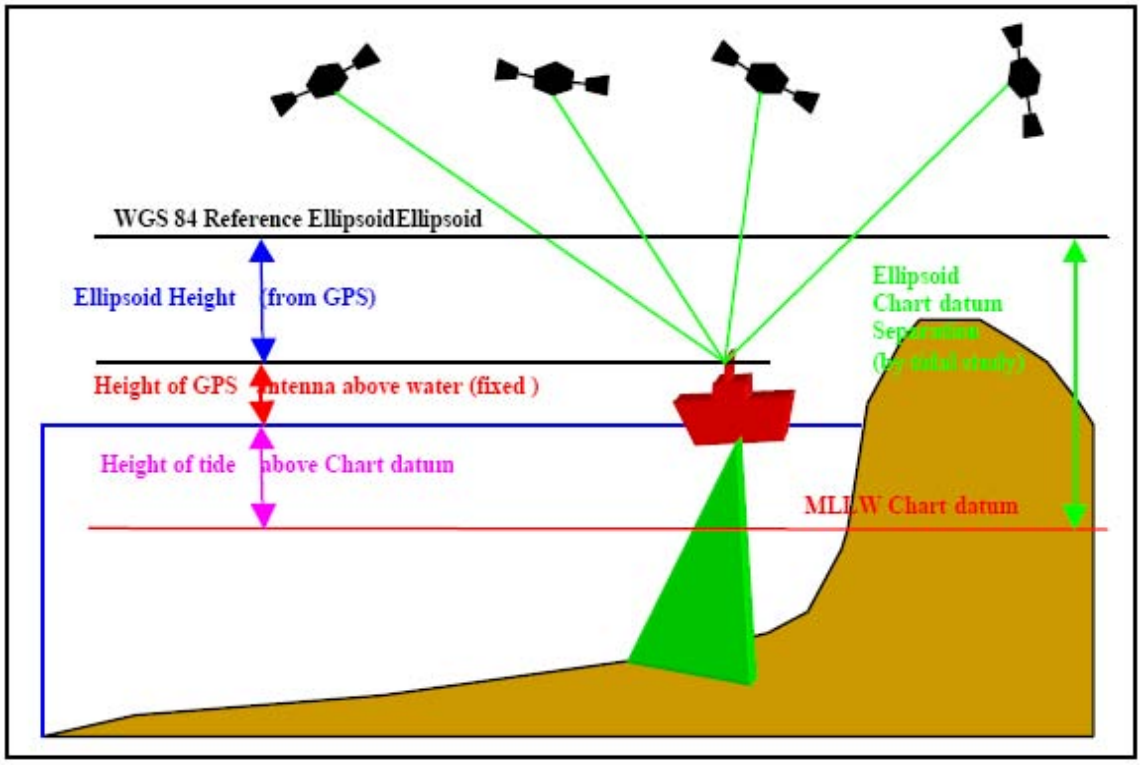


Fig. 7.12 "Medición Real Time Kinematic en una embarcación de levantamiento"

Procedimientos, pruebas y procesado de un levantamiento

a. Método convencional:

   i. Una cantidad establecida de areómetros acústicos debería ser descargada y operar para producir una serie de tiempos desde los conjuntos de datos, que deben reverenciarse a la cantidad de estaciones;
   ii. El indicador de datos debería ser utilizado para eliminar las diferencias horarias reales en el área desde las diferencias horarias promedio entre los indicadores;
   iii. El error promedio resultante cuando se usa un areómetro debe apreciarse, la distancia máxima en la cual los datos son válidos y donde no exceda los estándares catalogados en la Quinta Edición de S-44 de 2008;
   iv. La distancia de separación entre indicadores no debería exceder normalmente la distancia doble máxima subrayada en el punto anterior.

b. Método fase portadora RTK DGPS:

   i. No se requiere el uso de mareógrafos durante los levantamientos hidrográficos;
   ii. Se debería generar una superficie MLLW por un software adecuado desde el diagrama de datum de mareas;
   iii. El buque hidrográfico debe estar equipado con un Receptor Móvil GPS capaz de efectuar corrección de fase de la portadora en el modo OTF GPS;
   iv. Los datos de la embarcación (trazado, borrador, asentamiento, etc.) debe obtenerse al conducir las mediciones de referencia en el barco de levantamiento.

Se debe ejecutar una prueba del valor de separación de Mareas RTK GPS, al crear una matriz de diferencia elipsoide/MLLW mediante un software adecuado. Se debe operar una cantidad suficiente de líneas de comprobación en un área entre los sitios más cercanos de mareógrafos acústicos, que están registrando los datos de mareas.

c. Dos métodos de procesado de levantamientos son posibles:

   i. El método convencional usa sólo las coordenadas horizontales de GPS (y no las verticales) y las profundidades reducidas relacionadas a MLLW se obtendrán al aplicar los datos areómetros a los sondeos crudos;
   ii. El método RTK GPS genera una medición exacta de las profundidades relacionadas a la altura de antena GPS sin observar los datos de medición de mareas. Las profundidades GPS se refieren directamente a la superficie de mareas Kinematic GPS MLLW. Se debe seleccionar una cantidad aleatoria de profundidades de cada línea para compararse con las profundidades GPS reducidas por los datos mareométricos.

4.3 Observaciones ambientales

Se deben observar la dirección y el ritmo de la corriente de mareas donde quiera que sea de importancia de navegación y donde no exista evidencia que se han hecho observaciones anteriormente. Las posiciones, y los requerimientos completos, para las observaciones serán articulados en las Especificaciones Hidrográficas, pero se deberían incluir estaciones adicionales si se considera necesario.

Las observaciones deberían realizarse al usar un metro de corrientes, un perfil de corriente o una barquilla de la corredera flotante. Las observaciones deben hacerse en una profundidad apropiada al calado promedio de buques que usan el área, o como se ordene. Las observaciones no deberían realizarse durante condiciones climáticas anormales.

En áreas predominantemente semidiurnas, las observaciones deberían conducirse sobre un solo período de 25 horas en las primaveras. En áreas durante la igualdad diurna es larga, se requiere de 30 días de observación, usando metros de corrientes para permitir el análisis armónico. Si no es posible tomar tales observaciones prolongadas, entonces se deberían obtener suficientes mediciones que permitan una descripción a ser incluida en las Direcciones de Navegación y que las flechas de la corriente de mareas sean mostradas en la carta.

Además de las observaciones estándar, puede estar a disposición información de naturaleza menos formal de parte de fuentes locales, especialmente si puede afectar embarcaciones de bajo poder o yates. Los datos obtenidos deben incluir los ritmos en manantiales y las direcciones en las corrientes de mareas evaluadas por los mejores medios posibles. En áreas de fuentes corrientes de mareas, especialmente en los vecindarios de bancos, plataformas de rocas y en pasajes estrechos, remolinos y surgideros puede ocurrir que puedan ser de importancia considerable, especialmente para las naves pequeñas o de bajo poder. Los límites de estos fenómenos deberían fijarse, en manantiales, en ambas direcciones de la corriente de mareas.

Deben conducirse iniciales de velocidad del sonido para permitir la determinación de las variaciones temporales y espaciales a lo largo de toda el área de levantamiento. Una red de puntos de observación debe asegurar que se conduce una muestra representativa sobre toda el área de levantamiento en una forma metódica y oportuna. Estos datos, junto con otros factores ambientales como el clima, los flujos de agua fresca, cualquier variación estacional y la topografía del fondo marino determinarán la frecuencia en se conducirán observaciones de perfil SV. El uso de perfiles de embarcaciones en movimiento, perfiles ondulantes y sondas de cascos montados reducirá la necesidad de observaciones estáticas; sin embargo, las profundidades del agua y el tamaño de la embarcación pueden limitar la capacidad de usar tal equipo.

Existen series de intervalos en los cuales los datos SV deberían ser obtenidos y aplicados, y las directrices deben ser suministradas en las Especificaciones Hidrográficas y la Oficina Hidrográfica. La importancia de un SV correcto cuando utiliza MBES no puede ser subestimada.

4.4 Directrices de líneas

Descripción general

En términos posicionales, el proceso de adquisición de datos puede resumirse en la Figura 7.13. Una vez que la base y la dirección de la línea de datos se han decidido, el hidrógrafo necesita saber su posición junto con la línea seleccionada en todo momento.

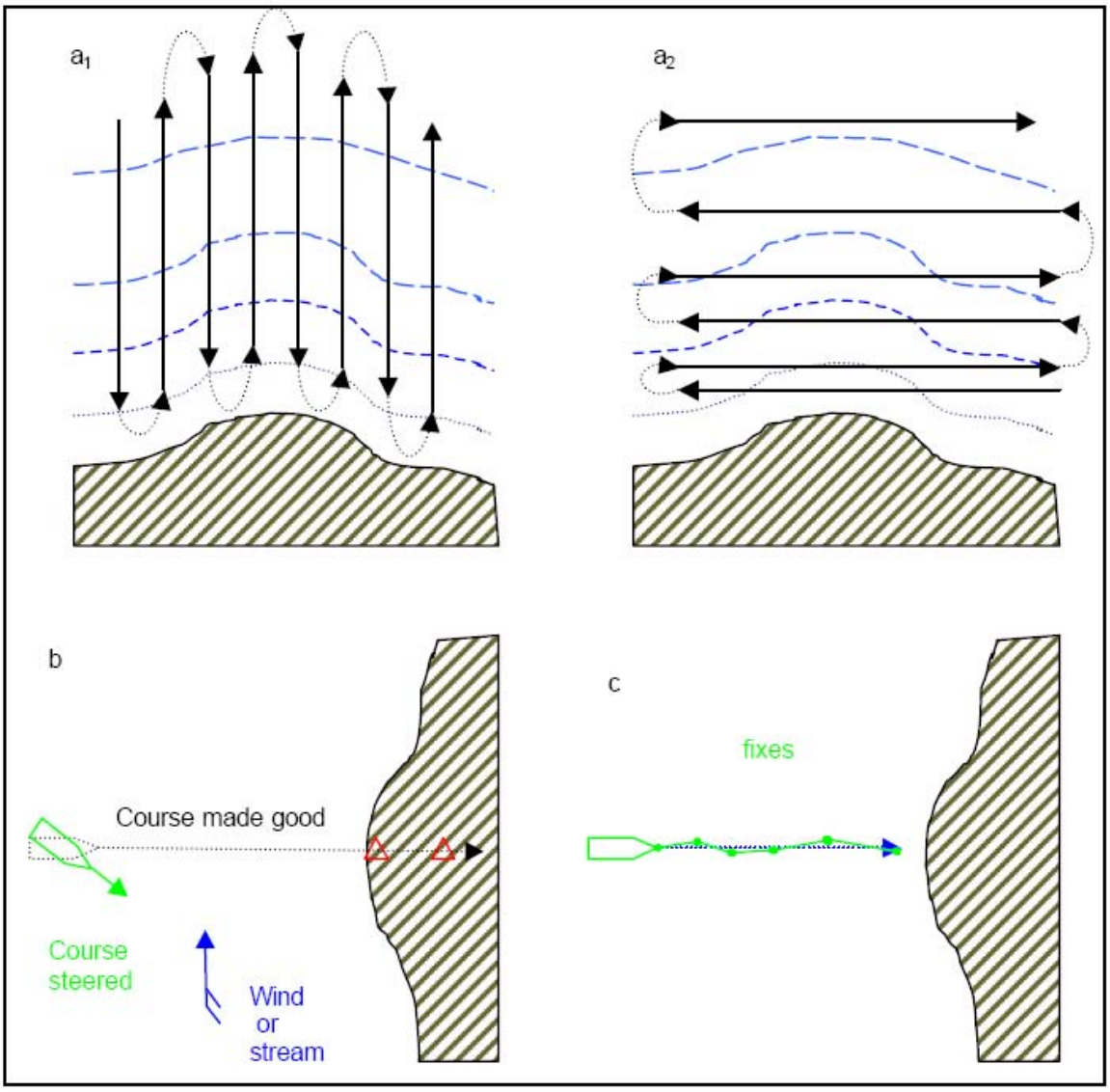


Fig 7.13 "Líneas de sondaje y control de rastreo relacionado"

a. La decisión de orientación y espacio en línea para el sondaje metódico de un área será influenciada por el equipo a ser usado. La figura a1 muestra el Singlebeam Echo Sounder (SBES) con líneas espaciadas muy cercanamente que cruzan los contornos de profundidad en los ángulos correctos, la Figura a2 ilustra el Multibeam Echo Sounder (MBES) o Side Scan (S/S) Sonar con líneas espaciadas para tener una superposición paralela a los contornos de profundidad;

b. Hacer bien la ruta seleccionada

c. Determinar que el rastreo real hecho está bien, que la posición de la embarcación está fijada en series de intervalos de rutas que se asume yace junto a la línea que une los fijadores;

La posición EPS tradicional se actualiza continuamente y, al observar un trazador de rutas o indicador izquierda/derecha, la desviación más ligera de la ruta escogida puede ser detectada y corregida. Además, el trazador de rutas, si está marcado para que muestre intervalos de tiempo a lo largo de la ruta, permite el trabamiento preciso de otros datos adquiridos. Los fijadores visuales, de otra parte, son eventos periódicos y el asumir que las posiciones en otros momentos que los instantes de fijación yacerán en las líneas que unen fijadores serán crecientemente erróneas ya que el intervalo entre los fijadores aumenta. La fijación de sextantes, teodolitos y estación total conducida durante un levantamiento de bahía puede tomarse en intervalos de pocos segundos y la partida de la ruta deseada puede controlarse por tránsito (como en el ejemplo anterior) o por una variedad de otros métodos.

Los fijadores modernos de EPS y satélites se toman cada segundo o menos suministrando información de posición continua conectada al indicador izquierda/derecha o a un sistema automatizado de adquisición de datos, que ofrece un medio de determinar, en tiempo real, el curso del barco y la velocidad sobre terreno, con una exactitud directamente relacionada al sistema de posicionamiento escogido.

En levantamientos de aproximadamente 25 kms cuadrados o menos, se pueden usar arreglos de reflector activo acústicos del fondo marino, colocados usando métodos de posicionamiento convencional, conjuntamente con eco-sondas o sonar de rango para proveer de información de posición continua, y en consecuencia, de control de la ruta.

Manejo de línea visual

Cuando se utilizan los métodos de fijación visual, la ruta del barco es trazada casi invariablemente en forma manual, con las posiciones de las líneas de fijación que representan la ruta seguida por la embarcación. Por tanto, la velocidad de la nave y el intervalo de posicionamiento están seleccionados por lo que las posiciones están lo suficientemente cerca (unos 3-4 cm. de distancia en el papel) para que las inexactitudes sean asumidas de forma insignificante en la escala del levantamiento (ej. Salidas de la embarcación desde la línea de posicionamiento conjunta será intrazable). La línea de control durante las operaciones de levantamiento usualmente te alcanza en forma independiente.

En el caso más difícil del levantamiento costa afuera sin un control en costa visible, la directriz de ruta será por compás o mejor por girocompás. Esto nunca es enteramente satisfactorio excepto en levantamientos a escala muy pequeña, por lo que el ajuste del curso necesariamente se verá retrasado hasta que la posición haya sido trazada. Un método alternativo de manejo de línea en estas circunstancias es conducir la embarcación alrededor del arco de un ángulo fijado subtendido entre dos marcas o seguir un LDP circular/hiperbólico de una cadena tradicional EPS. Estos métodos son superiores para cursos de compás/girocompás pero pueden ser difíciles en levantamientos a gran escala con macas de costa relativamente cerca al área de levantamiento donde los arcos son un radio pequeño que requiere variaciones grandes y constantes del curso. Actualmente, en los levantamientos costa afuera, se usan exclusivamente las técnicas GPS o EPS.

Otros métodos para manejo de línea visual y control de ruta son:

a. Tránsito natural - al mantener un objeto cerca de la línea costera con otro más allá hacia la costa en la dirección de la ruta a ser conducida, el timonel debería poder mantener la línea más fácil y precisa que por el curso del compás. Puede usarse cualquier característica adecuada (arbustos, cercas o postes telegráficos, chozas, partes de edificios, etc.), las marcas de tránsito deberían estar lo suficientemente espaciadas, cerca de un tercio de longitud de la línea de levantamiento, para ofrecer suficiente sensibilidad.

b. Tránsito artificial - aplican los mismos principios que los tránsitos naturales; las marcas artificiales, colocadas para cumplir con el espaciado requerido de las líneas, permite una conducción más precisa y puede ser esencial para trabajos a gran escala fuera de una costa estéril; este método es particularmente útil cuando se emprenden levantamientos a gran escala en bahías y muelles, donde se puede erigir el tránsito en ángulos rectos para proveer un manejo y posiciones de líneas en series de intervalos para cumplir con los requerimientos del levantamientos;

c. Prisma colimador de 180 grados - es instrumento simple y sólido permite al timonel divisar las marcas hacia atrás y adelante en forma simultánea, por lo que, en levantamientos de ríos o bahías, la embarcación puede ser conducida junto a los puntos de conjunción de líneas en bancos opuestos.

d. Dirección desde la costa - la dirección de la línea deseada se desprende del trazado por el apuntador de la estación como un ángulo desde un objeto referencia o directamente desde la hoja de campo, por intersección de LDP de un enrejado. La dirección requerida es entonces observada por un teodolito o sextante con la embarcación dirigida junto con la línea por el observador de costa usando banderas de mano, luces o enlaces de comunicaciones de radio. Cuando se levanta a lo largo de un río, cuenca o área de atraque, los observadores de la bahía pueden divisar un objeto en la costa opuesta en la línea a ser operada, lo que le permite seguir el progreso de la embarcación por ojo.

e. Starring - al planear las líneas de levantamiento como líneas radiales centradas en marcas de costa, esa marca puede formar la marca frontal de un tránsito, el timonel recoge una nueva marca de respaldo nueva (natural o artificial) para cada línea sucesiva. Alternativamente, puede usarse el método de *"dirección desde la costa"*, con lo que el observador de costa se tiene que ocupar sólo de una estación. Este método es particularmente adecuado para levantamientos alrededor de promontorios.

Manejo de líneas EPS

Se puede alcanzar el control simplemente al planificar las líneas de levantamiento ya sea el círculo de rangos o la hipérbole de diferencia de rangos, dependiendo del tipo de sistema que se use. Si las líneas son conducidas junto con lecturas de corredor patrón, cualquier salida de la línea es inmediatamente obvia, y la embarcación puede posicionarse en la intersección de la línea por un segundo patrón. En un patrón hiperbólico, las líneas y los intervalos de posicionamiento divergirán o convergerán, pero la línea de expansión usualmente es insignificante. Se pueden hacer concesiones para la expansión del corredor, ya sea a cambiar el patrón de intervalos usados o al operar interlíneas para mantener un espacio mínimo de líneas. Un indicador izquierda/derecha mostrará la posición relativa de la embarcación respecto a la línea provee una directriz clara al timonel.

Casi todos los fabricantes de sistemas EPS de corto y mediano rango ofrecen la facilidad de un trazador de ruta como equipo periférico, el cual es particularmente útil cando las líneas no pueden ser operadas junto con los límites del corredor como es usual en el caso de labores de dragado o despegamiento de tuberías. El reticulado de posicionamiento puede ser trazado y se puede seguir la línea seleccionada con un lápiz graficador, las posiciones pueden marcarse en el trazador de rutas como una señal pero es más usual mantener un trazado manual separado ya que el reticulado de posicionamiento regularmente te distorsiona en el trazador de ruta, algunos tipos de reticulados se muestran como una red rectangular y la escala requerida del levantamiento rara vez será como la del trazador.

Manejo de línea automatizado

El Apéndice 4 del Capítulo 7 subraya una configuración tradicional de sistemas hidrográficos automatizados para la Sala de Operaciones de un barco de levantamiento y la configuración general de hardware en el bote que realiza el estudio.

En general la configuración del hardware de un sistema de adquisición de datos hidrográficos automatizado es similar tanto en el bote como en el barco de levantamiento, con un software adecuado de adquisición de datos hidrográficos para controlar, manejar, adquirir y almacenar datos en un formato digital específico para el levantamiento desde el sistema de posicionamiento y el sistema eco-sonda (SBES/MBES/SSS). El software moderno de adquisición de datos hidrográficos debería proveer una pantalla timonel que permita que la embarcación sea conducida, ya sea manual o automáticamente, junto con las líneas preplanificadas del levantamiento.

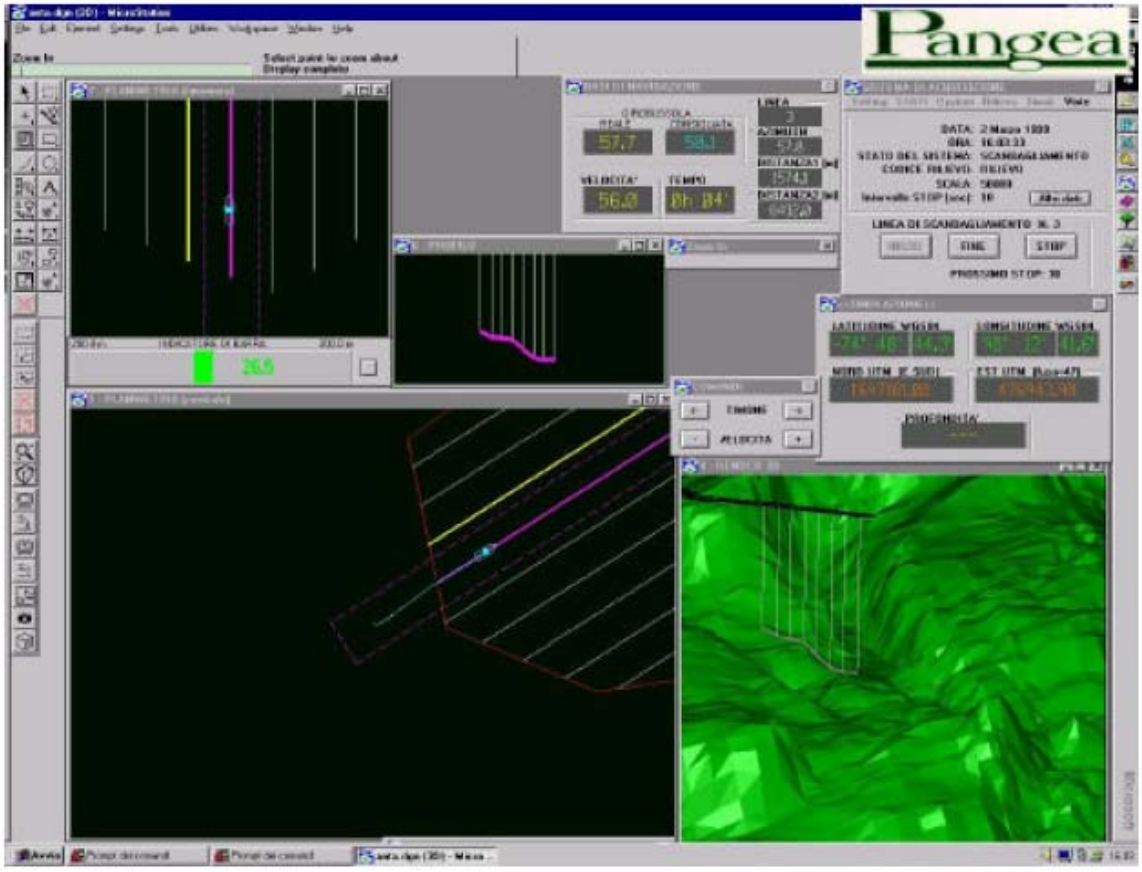


Fig. 7.14 “Imagen de video mostrada desde un software de adquisición”

Las Figuras 7.14 y 7.15 muestran una imagen de video tradicional adecuada para la pantalla del timonel que provee la siguiente información:

a. La línea de levantamiento seguida por el barco georeferenciado con la posición en tiempo real actualizado en intervalos de 1 segundo;
b. Un indicador izquierda/derecha;
c. La información digital recibida y maneja por el software de adquisición (coordenadas de posición, profundidades, COG, encabezamiento, SOG, número de línea y posiciones, distancias desde la línea de inicio y final, etc.).

Toda esta información permite al timonel y al hidrógrafo controlar y monitorear el proceso de adquisición junto con la línea de levantamiento seleccionada para cubrir el área. El manual de operación del software de adquisición debe contener todas las instrucciones y procedimientos para manejar el control de ruta automatizado, que en general es conceptualmente similar para cada fabricante del software.



Fig. 7.15 "Imagen de video mostrada desde el software de adquisición"

4.5 Chequeo de líneas

Las líneas de comprobación deben operarse, en el comienzo del levantamiento, perpendicular a las líneas principales del sondaje y, cuando sea posible, en una etapa diferente del ciclo de mareas y en buenas condiciones del mar. Se debe recoger suficiente información de sonar de las líneas de comprobación para permitir que se haga una declaración en el informe sobre el Levantamiento de la extensión de las ondas de arena en el área de levantamiento y su dirección.

Las líneas de comprobación de sondajes deben comparase mientras progresa el levantamiento como una revisión contra errores graves, error en el modelaje co-mareas o mal funcionamiento de los equipos. Se deben usar las pantallas MBES online para verificar la actuación repetitiva del sondaje al monitorear fajas adyacentes; esto también se usa para asegurar que la cobertura de superposición de fajas se está manteniendo y que se deben operar líneas adicionales para llenar cualquier brecha en la cobertura.

4.6 Líneas principales

El sonar de barrido debería articularse en las Especificaciones Hidrográficas, que también debe detallar el % de cobertura, el % de superposición y el criterio de detección de objetos a ser alcanzados. La inspección cuidadosa de los límites de las Especificaciones Hidrográficas y aquellos de los levantamientos modernos adyacentes se requieren para asegurar que no hay brechas entre ellos.

Cuando se conducen líneas de sondaje y de sonar concurrentemente, se deben mantener un equilibrio cuidadoso entre los requerimientos en conflicto. Se debe hacer cada esfuerzo para asegurar que no hay brechas en el barrido de sonar y por tanto será generalmente necesario subordinar las necesidades de la batimetría a las del sonar. Se pueden requerir líneas de sólo sondaje adicionales para asistir a la delineación de los contornos y las características críticas, donde el error de mantener la línea es >25 % del espacio de líneas, las brechas deben llenarse con líneas adicionales.

Se debe crear un cálculo/presupuesto de error de sondaje a priori y compararse con los requerimientos de las Especificaciones Hidrográficas. Si hay variaciones ambientales importantes o se hacen cambios en los equipos a los inicialmente usados, se debe repetir el proceso de cálculo/presupuesto y los nuevos resultados se usan como bases de comparación.

El espacio de líneas principales de levantamiento, la dirección y la velocidad del sondaje deben operar para cumplir con los requerimientos de las Especificaciones Hidrográficas y los criterios fijados. Las velocidades de levantamiento óptimas y máximas deben ser evaluadas tomando en cuenta el rango de profundidad y los sistemas en uso; el ritmo máximo de señal y la escala de rango deben ser utilizadas en proporción con la profundad del agua. Normalmente las líneas de sondaje deben operarse perpendicularmente a la dirección general de los contornos; sin embargo, las líneas de sonar deben operarse dentro de 20 grados de la corriente de mareas prevaleciente. En áreas de fuerte flujo de mareas, tendría que adoptarse una dirección mucho menor de 20 grados para asegura que el sonar pez de remolque sigue la ruta del barco.

Cuando se realiza el levantamiento sólo con MBES, la orientación y espacio de las líneas será dictado directamente por los criterios detallados en las Especificaciones Hidrográficas y los requerimientos del cliente. La detección de un objeto y de este modo la densidad de los datos determinará el porcentaje de superposición entre las fajas adyacentes, que serán una función de la profundidad del agua; de este modo el espacio de las líneas será influenciado por la profundidad del agua, la densidad de los datos y el criterio de detección de objetos y el porcentaje de superposición, que dará el porcentaje de cobertura alcanzado. Es muy probable que el espacio de líneas varíe a lo largo del área de levantamiento, particularmente si existen diferencias marcadas en las profundidades; se requerirá de un monitoreo cuidadoso durante las operaciones de levantamiento para asegurar que se cumplen los objetivos deseados.

Se deben establecer la posición y registro de los intervalos como lo requiera la escala del levantamiento y el sistema de procesado en uso.

Cuando se use SBES, las líneas adicionales de sondaje deben operarse en un espacio estándar perpendicular a los contornos desde los 10 metros de contorno en la costa para determinar los contornos de 5 y 2 metros y la línea de secado. Las líneas adicionales deben operarse paralelas y en distancias de 2, 5 y 10 metros lejos de malecones o muelles.

Cuando se haga sondajes sobre ondas de arena, las operaciones deben llevarse a cabo luego de períodos de calma climática y mareas muertas cuando las amplitudes de las ondas de arena son las mayores. Donde sea posible, los relevantamientos de áreas de ondas de arena deberían seguir las mismas rutas para detectar cambios en los perfiles de las ondas de arena.

Se debe tener cuidado al delinear la línea de bajamar, particularmente con respecto a los bancos falsos, rocas y bajíos alejados, ya que la posición de tales características pueden tener implicaciones legales internacionales. Cuando se haga levantamiento dentro de bahías y refugios de botes, las profundidades negativas y la ubicación de mal tendedero, en áreas donde anclas de embarcaciones pequeñas o tomar el terreno, debería ser precisamente delineado.

Cuando un levantamiento incluye un canal, la ruta o línea líder recomendada en aguas restringidas debería ser escaneada por un sonar. La concesión durante tales escaneos debe ser realizada para acomodar a las embarcaciones más grandes que usarían esas rutas prestando particular atención a las áreas de giro y donde una ruta cambia el curso.

Se deberían conducir chequeos regulares para asegurar la actuación del sonar, las ocasiones sugeridas son:

a. En la primera corriente;
b. Una vez por día cuando se opera en áreas de fondo marino sin características;
c. Después de una reparación o mantenimiento;
d. Después de cambios de pez de remolque o aletas;
e. Si existen dudas en la actuación.

Si parece que el sistema de sonar no está trabajando en su rango máximo, debido a las condiciones del agua o deficiencias materiales que no pueden ser rectificadas, el escaneo del sonar debe ser modificado para asegurar la cobertura completa.

Se debe desplegar un magnetómetro a lo largo del escaneo básico del sonar para proveer evidencia adicional de la existencia de metal ferroso en o bajo el fondo marino.

Es de suma importancia que el escaneo es minucioso, que no aparecen brechas en él, y que cada característica significativa del fondo marino u obstrucciones artificiales son localizados.

4.7 Interlíneas e investigaciones

Los artículos en la lista de naufragios suministrada que requieren una búsqueda rebatible deben ser buscados en un radio de 2,5 millas desde la posición catalogada. El límite del área de esta búsqueda puede extenderse fuera de los límites dados en las Especificaciones Hidrográficas; sin embargo, tal extensión es esencial para evitar la anomalía de tener un naufragio PA que esté dentro de un área considerada a ser completamente levantada. Asegúrese de que cualquier área de búsqueda rebatible que esté en el borde exterior de la zona de levantamiento está cubierta; se deben planificar líneas adicionales para que operen fuera del área para asegurar la insonificación completa del área con una superposición apropiada.

Se debe tomar nota cuidadosa de los 500 metros de zona de seguridad alrededor de las instalaciones en el fondo marino y las operaciones de oleoductos submarinos cuando se hacen levantamientos cerca de campos petroleros o áreas de exploración para asegurar la seguridad de cualquier equipo remolcado.

Para un objeto catalogado PA, la búsqueda de sonar debe realizarse en dos direcciones en ángulos rectos y extendidos a al menos 2,5 millas desde la posición datum. Si hay un alto grado de confianza de que la búsqueda inicial en una dirección fue completamente rigurosa y que el equipo de sonar estaba operando satisfactoriamente, se deben dar consideraciones para prescindir de la búsqueda en la segunda dirección.

Los objetos cuyas posiciones han sido anteriormente establecidas, pero que no pueden ser hallados durante el levantamiento, se necesita una investigación muy detallada para descartarlos. Donde estos objetos caigan dentro del área de levantamiento y la búsqueda de sonar se ha completado en un radio de media milla alrededor de la posición catalogada, esto se considerará suficiente. También debería desplegarse un magnetómetro. Cuando no existan dudas acerca de la posición geográfica de un naufragio después de muchas repeticiones de levantamiento, el radio antes mencionado puede reducirse. Se deben dar consideraciones al uso de un escaneo cableado.

Cada contacto debe ser examinado muy de cerca usando un sonar de barrido lateral; si el contacto es confirmado, se debe establecer su posición y la profundidad mínima al cerrar el sondaje. Se debe alcanzar un mínimo de 4 buenas rutas, al comprimir 2 pares perpendiculares. En el caso de naufragios, un par de las rutas debe ser paralelo al eje del naufragio y un par perpendicular.

Los datos relacionados al contacto pueden obtenerse del uso del sonar, del ecosonar, magnetómetro, del barrido cableado, de buzos o una combinación de estos. Cada contacto debe tener los siguientes detalles:

a. Posición;
b. Profundidad mínima;
c. Naturaleza del objeto;
d. Longitud, ancho y orientación;
e. Profundidad, longitud y orientación del barrido;
f. Longitud y orientación del campo de escombros;
g. Fortaleza del campo magnético.

El examen de la lista de naufragio suministrada puede ayudar en la identificación de los objetos; sin embargo, se debe tener precaución en vincular libremente nuevos descubrimientos de naufragios con los que están en la lista de naufragios. Aun podrían necesitarse búsquedas de descarte en las posiciones de la carta. La utilización de buzos puede ser de ayuda al identificar naufragios y reportar su estado; en particular, pueden localizar puntos altos, que no se podrían distinguir con los sonares o ecosonares.

Debe establecerse la profundidad mínima sobre los naufragios y obstrucciones, en ciertas circunstancias esto requerirá el uso de barrido cableado, que debería ser conducido después de haberse determinado la posición, tamaño, orientación y profundidad mínima probable mediante un sonar y ecosonar. El barrido cableado debe considerarse en las siguientes circunstancias:

a. Como está dirigido en las Especificaciones Hidrográficas para naufragios específicos;
b. Si la profundidad mínima probablemente sea menor de 40 metros;
c. Donde las profundidades alrededor del naufragio son significativamente diferentes a las de la carta;
d. Cuando el trabajo de salvamento/dispersión se ha realizado desde el último levantamiento;
e. Indicaciones de sonar de mástiles y estructuras sobresalientes;
f. Áreas carteadas como contaminadas dentro de un anclaje;
g. Naufragios en áreas de fuertes corrientes de mareas y movilidad del fondo marino;
h. Donde la posición del naufragio es significativamente diferente de la que está en la carta.

Se debe tener cuidado en asegurar que toda el área del naufragio se ha cubierto con el barrido de cable, en varias fases y que no hay brechas entre los barridos. No es suficiente cubrir sólo las áreas que parecen ser puntos altos en el sonar.

Se debe prestar atención particular al sondaje de profundidades <40 metros, donde la profundidad mínima debe obtenerse sobre todas las características del fondo marino. Las interlíneas deben operarse en profundidades de <40 metros, a menos que el fondo marino sea plano y sin características y que aparezca que no existen peligros al completar la cobertura por sonar de barrido lateral de remolque de alta definición o MBES.

4.8 Observaciones auxiliares/misceláneas

Las muestras del fondo marino deben obtenerse en intervalos regulares a lo largo de toda el área de levantamiento. Las muestras adicionales deben tomarse en todos los anclajes probables, en todos los bancos, bajíos y montañas submarinas, particularmente donde esas áreas fuesen inestables, y en los canales entre ellas. Aproximadamente 10 % de las muestras obtenidas deben ser retenidas para se presentadas con el levantamiento final.

Las muestras del fondo marino deben obtenerse normalmente a lo largo del área de levantamiento antes de comenzar el barrido de sonar para proveer un método de verificar el terreno de la foto del sonar y permitir una interpretación más precisa de las texturas del fondo marino.

Antes de la llegada en el levantamiento todas las marcas y ayudas fijas y flotantes de navegación deben identificarse de las cartas a escala más grandes, Lista de Luces y Lista de Señales de Radio. Al llegar todas las marcas y ayudas de navegación en cartas o fuera de ellas deben identificarse.

La posición de cada nueva marca de navegación fija o flotante y cualquiera sospechosa de estar fuera de su posición en la carta debe tener su ubicación determinada; las marcas flotantes deben fijarse en mareas completas de flujos y reflujos, sin embargo, si se puede obtener una posición que no es ambigua del amarradero central del ancla/plomada producto de la batrimetría de faja, es permitido citar eso como la posición de carta.

Para ayudas de luz de navegación se debe registrar lo siguiente:

a. La altura del plano focal;
b. Características de luz y sonido;
c. Arcos oscuros y sectores de luz;
d. Color y forma de la estructura;
e. El color y forma de la marca principal.

Deben tomarse las fotografías a color de todas las marcas para incluirlas en las Direcciones de Navegación.

Las autoridades de la bahía deben ser consultadas sobre los cambios encontrados en los navaids para determinar si tales cambios son permanentes o temporales. Se deben obtener los detalles de cualquier cambio planeado.

Se deben obtener los detalles de las operaciones de radio de puerto, incluidos los Sistemas de Información sobre la Navegación (VTS, VTM, VTIS, etc.); los servicios de pilotos de radio; las ayudas de radio navegación (incluidos (Aereo) radiofaros, balizas de radar, etc); los servicios de estaciones de radio costera (ej. Detalles de la correspondencia pública, advertencias de navegación y información de pronósticos climáticos, programas, etc.) las instalaciones GMDSS y los procedimientos de Búsqueda y Rescate.
Se debe tomar cada oportunidad para obtener detalles de fenómenos naturales durante el curso del levantamiento. Tales fenómenos incluyen:

a. Las capas de dispersión profunda son las capas biológicas, que consisten en plancton y otros pequeños organismos marinos, y de los peces grandes que se alimentan de ellos. Algunos de estos tienen vejigas para nadar que responden a las transmisiones de sonar y ecosonar, lo que causa dispersión de las ondas de sonido, lo que puede afectar considerablemente las operaciones de sonar. Por tanto, los reportes del fenómeno son importantes y deben ser informados;

b. La bioluminiscencia marina es causada principalmente por animales marinos que varían en tamaño, desde microorganismos a peces bastante grandes, calamares y medusas. Se encuentran más comúnmente en aguas cálidas que frías, y s de considerable interés para los biólogos marinos y científicos militares. Los reportes del fenómeno son importantes y deben ser informados;

c. Las aguas descoloradas generalmente se reconocen por tener casi siempre orígenes biológicos. Las muestras de agua y las observaciones secchi de tales áreas son de considerable interés y deben obtenerse y reportarse;

d. Los reportes de vida marina deben hacerse de tal manera que cubran los movimientos de ballenas y de otras especies mamíferas marinas, que son de gran interés en las operaciones militares submarinas y para los biólogos marinos. La presencia de actividad pesquera comercial en el área de levantamiento es importante ya que el sonido generado por los motores y los aparatos de pesca pueden afectar significativamente los niveles de ruido ambiental. También la presencia de una flota pesquera puede indicar que existe una gran población de peces; la dispersión de sonido causado por cardúmenes de peces puede

inhibir la actuación del sonar. Las observaciones deben ser incluidas en el informe sobre el Levantamiento.

5. DELINEACIÓN DE LA LÍNEA COSTERA

5.1 Delineación costera general

La delineación precisa de la línea costera y las características de la costa es un punto esencial del Levantamiento Hidrográfico, ya que a los navegantes se les pide con regularidad que fijen su posición con orientación y ángulos o rangos a promontorios y características similares de la línea costera. Generalmente, en el levantamiento hidrográfico, la línea costera se define con respecto al datum HW.

La línea costera, excepto en los levantamientos más rápidos y superficiales, siempre debe ser trabajada a pie cuando la naturaleza lo permita. Muchas bocas de ríos pequeños y corrientes se han ignorado por la práctica de tomar un bote a lo largo de la costa y sólo desembarcando en varios sitios a distancia.

En algunas instancias, adecuados mapas de levantamiento de tierra se basan en modernas fotografías aéreas o imágenes satelitales que proveerán los datos que pueden ser usados para asistir en el trazado de la línea costera. Ocasionalmente, la fotografía aérea se puede utilizar para un levantamiento especial y se puede producir un “trazado fotográfico” aéreo a una escala apropiada. Sin embargo, esto no obvia la necesidad de caminar sobre la línea costera.

Todos los mapas de levantamientos terrestres y los trazados de fotos aéreas deben ser chequeados en el campo antes de usarlos en la Hoja Batimétrica y Tracings to Accompany. Donde no haya mapas adecuados, la línea costera debe ser apropiadamente levantada, y las características clave deben ser posicionadas por un método regular, dependiendo de la escala del levantamiento.

Un hidrógrafo que delinee la línea costera, incluso cuando revise un mapa o un trazado fotográfico, debe trazar la Línea de Bajamar de la mejor manera posible y siempre debe anotar la naturaleza de la playa. La mejor manera de encontrar la Línea de Bajamar es al reducir los sondajes pero cada parte de la playa debería, si es posible, ser vista al menos una vez en bajamar para observar si hay peligros que puedan haber escapado de su atención. Esto es particularmente necesario donde el rango de la marea es grande.

5.2 Detalles costeros requeridos

El hidrógrafo debe llevar a cabo las siguientes tareas:

a. Delinear y posicionar la línea costera con los mejores métodos disponibles;
b. Posicionar y describir todos los objetos CONSPICUOS y Prominentes al navegante, que no hayan sido posicionados y chequear que las características/marcas existentes en las cartas y publicaciones están posicionadas y descritas correctamente, aun cuando puedan estar un poco tierra adentro;
c. Posicionar y describir o indicar en la carta todos los objetos y características de la línea costera que asistan al navegante a posicionarse él mismo e identificar la línea costera. En levantamientos a gran escala esto incluirá los detalles más pequeños que sólo pueden verse cerca de la costa;
d. Medir y estimar las alturas de tales características, algunas de estás pueden ser descritas en términos generales como “Acantilados rojos bajos, de 5 a 6 metros de alto”;
e. Posicionar todas las islas, los peligros visibles costa afuera y obtener sus alturas, también fijar las marcas flotantes adyacentes (boyas que no estén en las cartas);
f. Describir la composición de la playa entre la línea de bajamar y la línea de pleamar así como también por encima de la línea de pleamar. Se deben insertar los símbolos apropiados en la Hoja Batimétrica;
g. Indicar los lugares de desembarco establecidos a lo largo de la costa. Posicionar y

describir esvaranes, desagües de aguas negras y todo lo que pueda constituir un peligro para el desembarco. También deben posicionarse muelles y malecones y se tiene que obtener una descripción detallada, que debe incluir el tipo de estructura, las profundidades aledañas, altura de la cubierta por encima del datum HW y las instalaciones disponibles;

h. Deben obtenerse detalles de las bahías al dar las instalaciones y suministros de amarraderos disponibles, esta información será incluida con las Direcciones de Navegación;
i. Donde sea apropiado, se debe obtener de fuentes locales confiables la ortografía correcta de los nombres de los lugares y revisar que los nombres mostrados existen en mapas y cartas y publicaciones.

Adicionalmente, el hidrógrafo se debe preocupar de los detalles topográficos cerca de la costa. La cantidad de detalles dependerá del tiempo disponible, la escala del levantamiento y si la topografía va a ser obtenida por otros participantes de campo, o por otros medios, como fotografías aéreas.

5.3 Detalles motivos de preocupación para el navegante

Objetos/marcas CONSPICUAS. - Los navegantes usarán marcaciones para picos, iglesias, chimeneas, molinos, mástiles, edificios permanentes, etc. Estos serán visibles desde una distancia amplia costa afuera.

Marcas prominentes. - De nuevo, los navegantes usarán marcaciones para picos, iglesias, chimeneas, molinos, mástiles, edificios permanentes, etc. Estas marcas serán visibles desde sitios bien cerca de la línea costera/playas.

Características de islas, cabos y costa afuera. - Los navegantes usarán marcaciones para tangentes a diestra y siniestra y alturas verticales para la cima de acantilados, etc.

Instalaciones de bahías y puertos. - Determinar las dimensiones de la altura de los embarcaderos, la orientación y profundidad aledañas, tipo de construcción, instalaciones de muelles y atracaderos, instalaciones para pequeñas embarcaciones, detalles de naves visitantes, marinas, club de yates, atracaderos de abastecimiento de combustibles, etc.

Principales características terrestres:

a. Objetos naturales - cimas de colinas, ríos, lagos, pantanos, bosques, contornos, etc.
b. Objetos artificiales - edificios, pueblos, astas de banderas, caminos vías férreas, fábricas, etc.
c. Contornos - suficientes para indicar la altura y forma de la región costera.
d. Naturaleza de la topografía de la playa y la costa - para asistir en el reconocimiento y la selección de los lugares de desembarco.
e. Luces.- Los detalles deben ser chequeados en el campo y contra las entradas de las Listas de Luz.
f. Direcciones de navegación. - Las descripciones completamente escritas de la línea costera y los detalles de las instalaciones de puertos y bahías.

5.4 Topografía

Donde estén disponibles mapas de levantamientos terrestres, fotografías aéreas o trazados de fotografías, deben ser profundamente revisados en el campo por cualquier discrepancia que se haya registrado.

También debe chequearse en el campo la topografía en cartas a gran escala para actualizar los detalles que no están mostrados normalmente en los mapas y los que no son visibles en fotos aéreas, prestando particular atención a los detalles costeros, ejemplo faros, astas de banderas, esvaranes, etc. Los objetos

cartografiados que ya no existen deben ser registrados, preferiblemente como supresiones en una copia de la carta que debe ser remitido con los resultados del levantamiento.

No se mostrarán detalles topográficos en la Hoja Batimétrica a menos que hayan sido levantados en el campo, o su existencia y posición en el mapa o trazado de foto aérea han sido confirmados por el hidrógrafo. Los detalles recién levantados deben incluirse, los detalles de otras fuentes que se hallaron son correctos pueden transferirse a la Hoja Batrimétrica, y es a discreción del hidrógrafo el dar una presentación equilibrada y más completa, pero debe ser insertada con cuidado meticulosos para que no surjan posteriores preguntas sobre su autenticidad.

Donde no existan mapas modernos o fotografías aéreas, todos los detalles topográficos que serán de uso para el navegante deben estar posicionadas precisamente y mostradas en la Hoja Batimétrica. En particular, todas las características que puedan ser usadas para fijar la posición de un barco, ya sea visualmente o por radar, deben ser trazadas, y donde sea práctico, hacer coordenadas. A menos que haya tiempo y recursos disponibles, no se deben destinar esfuerzos en registrar detalles topográficos menores que no tienen directo interés para el navegante o que no es visible desde mar afuera.

Cualquier cambio que sea hallado debe ser reportado.

5.5 Delineación de la línea de bajamar

La línea de bajamar es en general la base para determinar los límites del mar territorial y las líneas de base asociadas y su delineación cuidadosa es lo más importante por el efecto que puede tener en limitar la industria pesquera, en la observación de las regulaciones de contaminación y el otorgamiento de licencias para extracción mineral costa afuera, así como en la delineación de fronteras internacionales. Los hidrógrafos, por tanto, deben tener especial cuidado de que la línea de bajamar del continente, islas y de todas las características de bajamar sean adecuadamente delineadas, aun cuando puedan ser de poco interés para el navegante.

El levantamiento de un área que involucre características de bajamar debe ser considerado incompleto si la línea de bajamar no está delineada adecuadamente, a menos que se hayan emitido instrucciones específicas que digan lo contrario.

5.6 Alturas de características terrestres

La altura de todas los bordes terrestres de la costa deben obtenerse incluso si la elevación es pequeña, en particular cada islote y roca que sobresalga del agua debe tener su altura registrada en contra del nivel del mar. Si no existen cumbres disponibles, las alturas de las puntas de los árboles o las islas deben ser halladas y registradas. Igualmente, se debe hacer con las alturas de características artificiales como mástiles, chimeneas, etc.

Los acantilados deben tener sus alturas registradas y si color si es de alguna manera destacado.

Las alturas de los objetos deben referirse al MSL (o su equivalente) y si esto no es práctico, la altura real del objeto puede mostrarse como una leyenda. Para propósitos especiales en levantamientos en ríos se puede usar otro criterio para la referencia plana.

5.7 Cartografíar la playa

La principal preocupación cuando se cartografía la playa es fijar la posición de todos los peligros que hayan podido obviarse con el sondaje rutinario, como afloramientos rocosos u obstrucciones hechas por el hombre. Los objetos que yacen más allá de la línea de bajamar tendrán que ser intersectados. Los oleoductos o cables prominentes en la playa pueden extenderse hacia el mar más allá de la línea de bajamar y ser un peligro cuando se ancla. Finalmente, la naturaleza de la playa debe ser registrada.

5.8 Calco de la línea costera

Un calco debidamente preparado de la línea costera debe contener:

a. El título del levantamiento, el número de especificación del levantamiento, la escala el nombre del barco cualquier otra identificación complementaria;
b. La posición de todas las marcas coordenadas a ser usadas;
c. Las posiciones de rejilla y geográficas escogidas y rodeadas con un círculo de tinta con los valores de al menos 2 de cada posición;
d. Escala diagonal;
e. Meridianos verdaderos y magnéticos;
f. Una nota del valor de la distancia menos trazable, que es ¼ mm en papel, sin reparar en la escala (1:10.000 = 2 ½ m).

5.9 Uso de trazados de fotos aéreas

Un trazado de fotos aéreas del área costera dentro de los límites del levantamiento hidrográfico algunas veces será preparado en la Oficina Hidrográfica cuando:

a. El mapa de topografía existente esta desfasado, es pobre o no existe;
b. Las características de interés hidrográfico, ej. Rocas submarinas, aparecen en forma inadecuada o no están incluidas en los mapas topográficos y son evidentes en tomas fotográficas;
c. Cuando las alturas de bajamar pueden establecerse de forma precisa y eficiente por medios fotogramétricos.

Cuando un trazado de foto aérea ha sido suministrado para soportar una especificación del levantamiento, se pueden adoptar los siguientes procedimientos:

a. El trazado fotográfico será profundamente revisado en el campo por posibles errores en la interpretación, forma y posición de la foto. Las dificultades experimentadas en la compilación de trazados fotográficos y las discrepancias con los datos existentes serán resaltadas en el informe sobre el trazado fotográfico que acompaña al mismo. Se debe prestar atención especial para resolver esas diferencias;
b. Los datos en el trazado fotográfico que no han sido verificados en el campo no deben ser incluidos en la Hoja Batimétrica. Se debe notar que la línea de agua derivada de las fotografías aéreas, raramente coincide en forma precisa con la Carta Datum, especialmente en áreas con playas de levemente inclinadas, y puede haber necesidad de ajustarla antes de incluirla en la Fair Sheet.
c. Las enmiendas al trazado fotográfico debe mostrarse al marcar las correcciones en una copia del trazado;
d. Cuando sea requerido, las fotos aéreas suministradas con el trazado serán marcadas con pinchetas e identificaciones en el lado reverso, para mostrar el control adicional establecido para el levantamiento.

La fotografía aérea existente puede ser de uso considerable en la delineación costera. Los puntos de control anteriormente usados deben ser chequeados contra el sistema de levantamiento de referencia, recordando que la escala de vuelo puede necesitar expandirse en 4 ó 5 veces para igualar la escala del levantamiento. Note que los errores en la elevación del terreno en la fotogrametría son cerca de 1/5000 de la altura de vuelo aunque los errores horizontales son considerablemente más pequeños.

Cuando la delimitación de la línea costera es el objetivo, se deben planear franjas rectilineares orientadas en forma paralela a la línea costera. Las franjas solapadas deben incluir los puntos de control comunes y los vuelos deben coincidir con tiempos de bajamar.

Para levantamientos a gran escala (menos de 1: 50 000) donde la fotogrametría será usada para

obtener alivio de terreno y otros detalles topográficos, se requerirá de un control 3D adicional. Los errores en los puntos de control terrestres coordinados deben ser menos de la mitad de los errores de aerotriangulación para los puntos usados durante la interpretación fotogramétrica.

Para ajustes de franjas de aerotriangulación, se requieren de 4 puntos de control planialtimétricos (3D). Se deben agregar más puntos de control interno por cada franja.

En vuelos más complejos con un gran número de franjas paralelas, la aerotriangulación permite que se haga un ajuste de bloque. Los puntos de control terrestres planialtiméricos pueden ser en el orden de 5+0.2M (donde M= al número de modelo del proceso de aerotriangulación). Adicionalmente, se pueden requerir los puntos de control altimétrico en áreas donde se requiere una precisa medición de altura de los accidentes.

Para levantamientos a escala más pequeña (mayores que 1:50 000) se requerirá un menor número de puntos de control terrestre, algunos con sólo coordenadas horizontales conocidas. Esto también es válido para las imágenes satelitales.

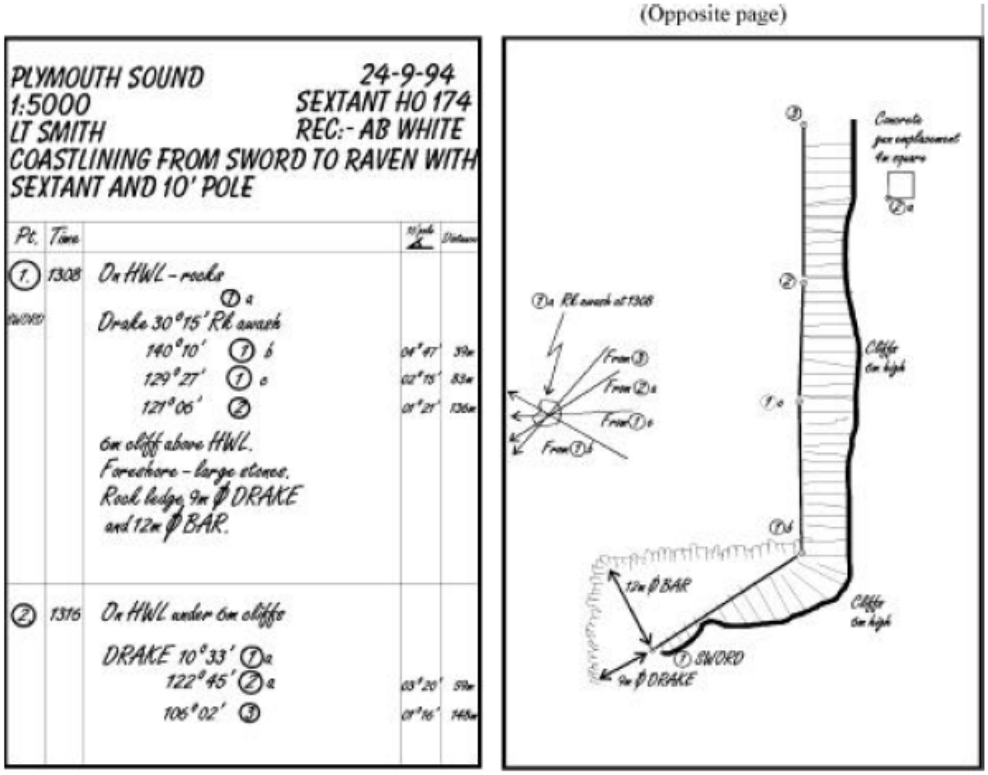
La fotogrametría o imágenes satelitales no niegan la necesidad de los hidrógrafos para que exploren completamente la línea costera en el campo.

5.10 Métodos para delinear la costa

Cualquiera sea el método utilizado, los puntos deben ser posicionados en el HWL tan cerca en el papel que los detalles puedan ser dibujados precisamente entre ellos. El espacio en el papel depende, por tanto, de la complejidad de la línea costera.

El registro tradicional para un poligonal sextante y una vara de 10’ se detalla a continuación. Un registro adicional sería empleado cuando se haga la resección o al usar una combinación de ambos métodos. Note que el diagrama abarca todos los ángulos y distancias en la página de grabación.

(Opposite page)



5.11 Trazado de la línea costera

Es usual dibujar la línea costera al trazar las posiciones de resección o puntos poligonales directamente en el solapamiento de delineación costera, aunque también se pueden usar hojas de trazado milimétrico. También puede ser apropiado calcular los puntos de giro de un poligonal y ajustarlos antes del trazado. Agujeree a través de los puntos de coordenadas conocidos usados al comenzar y terminar el poligonal, los detalles restantes de la línea costera son entonces trazados a mano.

El método gráfico de trazado de una línea costea se describe a continuación:

a. Trace los puntos al usar el transportador de ángulo y distancia. Se encontrará que lo más conveniente para usar es un transportador circular grande de plástico transparente, divisores de arco de resorte, un punzón y lápices 4H bien afilados. Es importante recordar que se evite el uso de ceros cortos en el papel para alinear el transportador. Cuando se raye el trazado, asegúrese de que están dibujados más largo de lo requerido y que los agujeros hechos en el borde del transportador están marcados, para que así puedan ser usados de nuevo para alinear el transportador si es necesario. Es importante hacer esto cuando el objeto de referencia es la marca trasera del poligonal y por tanto el cero para el trazado sería muy corto si los agujeros de la marca trasera fueron usados para alinear el transportador o el apuntador de la estación. Si existe un mal cierre aceptable el poligonal debe ser ajustado gráficamente. Si el mal cierre es grande será regularmente hallado debido a un sólo error flagrante en ves de una acumulación de errores pequeños. El trazado debe ser chequeado cuidadosamente antes de abandonar las esperanzas y re-levantar la sección en el campo;
b. Los puntos intermedios, tangentes y los trazados son dibujados entonces en forma de posiciones correctas de los puntos de giro. Se debe tener cuidado al cero en las posiciones corregidas de las marcas traseras, el dibujar líneas a través de ellas sobre las cuales se alineará el transportador;
c. Los detalles de la línea costera entre los puntos intermedios son entonces insertados usando el bosquejo del mapa; las fotografías aéreas y los mapas existentes son de gran asistencia ya que son la información anotada en las puntas de las líneas por los ecosondas del bote;
d. Entonces la línea costera es pintada usando los colores y símbolos adecuados (Ver int. 5011). Cuando se describan acantilados o costas abruptas, la base de los acantilados deben ser cartografiadas correctamente pero las cimas pueden ser dibujadas lejos dentro de la costa para permitir que el trabajo del lapicero sea insertado; una exageración similar es necesaria con ciertos otros símbolos, pero se deben tener gran cuidado con esas que representan características de bajamar para asegurar que el límite hacia el mar está cartografiado correctamente.

5.12 Informe sobre la delineación de la línea costera

El trabajo de levantamiento de la línea costera debe ser reportado de acuerdo al Apéndice 2 de este Capítulo, sin embargo algunos de los aspectos más importantes se detallan a continuación:

a. Exponga el objetivo de la tarea, note si fue una actualización de una carta existente, una nueva carta o para otro propósito especial. Indique que otras fuentes de material fueron utilizadas además en las observaciones de campo por el hidrógrafo en el terreno;
b. Presente un breve resumen de los métodos usados y las medidas tomadas para establecer el control para el levantamiento de la línea costera, incluidos los puntos de control de fotos aéreas;
c. Resalte las dificultades particulares que enfrentó y cualquier trabajo adicional requerido; puede ser necesario suministrar una indicación para el tiempo de la escala antes del relevantamiento;

d. Suministre una evaluación de los errores de coordenadas de los objetos y marcas levantados;
e. Describa todos los puntos de control nuevos establecidos con una indicación de expectativa de vida, detalle los antiguos puntos de control reocupados y analice el estado del material; se deben presentar descripciones completas de todos los puntos;
f. Se deben presentar amplios detalles de los resultados obtenidos; todos los trazados, vistas fotográficas, registros de videos, reportes de bahías e información portuaria, muestras obtenidas y los registros del levantamiento a ser entregados deben ser catalogados;
g. Las fuentes de la cuales se han obtenido los nombres deben ser reportadas, si mapas modernos producidos localmente han sido usados para confirmar los nombres, se deben reenviar copias con el Informe sobre el Levantamiento;
h. El levantamiento deben comentar lo completo del estudio e indicar donde se requiere trabajo adicional.

Como en todos los registros de levantamientos, es vital que los registros del levantamiento de la línea costera sean verificados para asegurar que no existen anomalías y que se alcanzó la consistencia entre los detalles citados. Todos los registros a ser presentados deben ser chequeados cuidadosamente y catalogados para asegurar un claro entendimiento del levantamiento en la Oficina Hidrográfica.

6. PROCESADO DE LOS DATOS

El cuidado y la atención dedicada al trabajo en el campo deben extenderse a todas las etapas del procesado de datos y a la cuidadosa y legible anotación de todo el material original utilizado para generar los registros finales. El principio subyacente a ser observado en los registros recaudados de cualquier levantamiento es que deben ser enteramente comprensibles a cualquier persona que tenga un sólido conocimiento del tipo de sondeo realizado. La preparación de todos los datos en la manera establecida, clara, precisa y concisamente, es absolutamente vital; la terminología debe estar en concordancia con las definiciones de la Publicación S-32 de la OHI.

6.1 Batimetría

El rendimiento del proceso de detección del fondo, cuando se usa MBES, es un tiempo y ángulo exactos de la llegada para cada profundidad medida. Estos dos parámetros son usados como aportes a los algoritmos del trazado de rayas que los convierte en una profundidad precisa y una distancia de ruta a lo largo y a lo ancho al usar la información sobre el perfil SV para hacer el cálculo, que normalmente es realizado en casi tiempo real.

El volumen absoluto de los datos reunidos con MBES significa invariablemente que el procesado basado en el área es el único método realista. El SBES puede ser procesado de forma similar, sin embargo el procesado línea por línea con la comparación directa contra la ruta del eco, si se genera, es regularmente más apropiado.

El uso de sistemas de navegación por satélite ha reducido la cantidad de posprocesado y edición de rutas, sin embargo, un cuidadoso CC online para la producción y estadísticas del sistema de navegación es vital para asegurar se alcanzan los estándares posicionales.

Los datos del perfil de la columna SV deben obtenerse en intervalos regulares durante las operaciones de levantamiento, particularmente si no se adquieren y aplican observaciones SV continuas. Los intervalos entre las observaciones SV serán determinados por la dinámica ambiental evaluada desde los datos iniciales temporales y espaciales obtenidos en concordancia con la sección 4.4.5.

Todos los algoritmos usados para la edición de los datos deben ser registrados e incluidos en el Informe sobre el Levantamiento para permitir un claro entendimiento del método de procesado a ser obtenido por la Oficina Hidrográfica. Los parámetros de suavización y filtro pueden ser detallados en las Especificaciones Hidrográficas o estandarizados por la Oficina Hidrográfica, y cualquier variación

debe ser justificada en el Informe sobre el Levantamiento. Se debe evitar un excesivo suavizamiento y filtración.

El método de procesado y edición debe seguir un camino lógico con un claro rastro de revisión para permitir que todas las acciones y parámetros sean chequeados y aprobados, una sólida rutina de CC debe estar en operación todo el tiempo, lo que debería permitir una comparación frente a anteriores levantamientos, cartas publicadas o datos de levantamientos validados, y contra datos de levantamientos adyacentes recientemente obtenidos. La inspección cuidadosa de los datos verificados debe ser llevada a cabo, se debe producir un plot estadístico y cualquier diferencia > v2 x en el presupuesto de error del sondeo debe ser investigada.

Las lecturas de escalas mereométricas y mareógrafos deben ser reducidas al datum de sondaje en la estación de mareas, al usar los valores obtenidos para cada uno cuando fueron instalados. Los factores de rango y tiempo co-mareas deben ser aplicados para reducir las mareas observadas para los valores en el área levantada.

Una comparación diaria de la escala mereométrica y el mareógrafo debe ser llevado a cabo al comparar lecturas simultáneas. Después de la reducción del datum de sondaje, las lecturas simultáneas de escala mereométrica y mareógrafo deben ser comparadas para asegurar que el mareógrafo fue leído correctamente.

Las lecturas reducidas del mareógrafo deben ser trazadas y la curva de marea resultante debe ser comparada a la curva pronosticada en la estación de mareas, para asegurar la consistencia de los datos y para asegurar que el mareógrafo fue registrado correctamente. A menos que se prevean “pasos” en las mareas, las curvas serían más suaves, los pasos grandes o repetitivos deben ser anotados en el Informe sobre el Levantamiento y el mareógrafo debe ser revisado por si está funcionando mal.

Cuando se utilicen enlaces telemétricos con indicadores establecidos, una comparación del indicador real y los valores telemétricos deben ser conducidos durante las 25 horas de comparación de vara/indicador y luego en intervalos a lo largo del levantamiento.

La densidad de los datos deben ser alineados con los requerimientos de detección de objetos, lo que determinará el tamaño de la rejilla a ser usada. En levantamientos para cartografiado de navegación, la inclinación de los bajíos es el criterio normal, sin embargo, hay ocasiones cuando la profundidad media será la apropiada. Las Especificaciones Hidrográficas y la política de la Oficina Hidrográfica deberían proveer las directrices de los requerimientos.

Las Especificaciones Hidrográficas deberían detallar la presentación final del levantamiento, incluido los intervalos del contorno; sin embargo, se debe hacer uso completo de las numerosas herramientas de visualizaciones disponibles para ayudar en el chequeo y CC del sondeo. Algunos de los formatos de visualización son:

a. Trazados de sondaje;
b. Trazados de contorno;
c. Sondaje de color digital y muestras del contorno;
d. Superficies 3D de profundidad a color 3D;
e. Superficies 3D de escala gris iluminadas por el sol.

Si se crean superficies 3D de escala gris iluminadas por el sol, la superficie debe ser vista desde dos direcciones perpendiculares para resaltar cualquier anomalía o artefacto que necesite más investigación.

6.2 Caracterización del fondo marino

La textura de los datos deducidos de la ruta del sonar o los datos de dispersión posterior surgirán en un mosaico ya sea usando un sistema automatizado o al crear un dibujo manual de un coleccionista de la textura del fondo del mar. En ambos casos, la interpretación será guiada por la rejilla de las muestras del fondo marino tomadas a comienzos del levantamiento.

Los detalles iniciales incluyen las crestas de las ondas de arena, con alturas, las posiciones de obstrucciones con alturas y el comienzo y fin de afloramientos y pináculos de rocas. Los detalles de textura deben ser trazados para definir los límites de la textura. Se debe tener cuidado para asegurar la conformidad de los detalles de textura de las áreas levantadas previamente.

Las instancias ocurrirán cuando se requieran muestras adicionales del fondo marino para aclarar las áreas de textura compleja del fondo marino. Se deben obtener suficientes muestras adicionales del fondo marino hasta que se haya alcanzado un nivel de confianza de que el fondo marino ha sido clasificado en forma precisa.

La calidad y totalidad de la cobertura del sonar deben ser determinada por la inspección de:

a. Un trazado de la ruta del barco, la inspección revelará cualquier brecha en la cobertura debido a un mantenimiento pobre de la línea, una velocidad excesiva del remolque, esas brechas deben ser recorridas de nuevo;
b. Datos de control de calidad de la línea que indicarán si la velocidad máxima de remolcado ha sido excedida, las áreas de exceso deben ser recorridas de nuevo;
c. Los rastros del sonar deben ser inspeccionados para asegurar que el pez remolcado fue desplegado en la altura correcta sobre el fondo marino y que se registraron datos buenos, cualquier área con datos sospechosos deben ser recorrida de nuevo;

6.3 Detección de accidentes

Las obstrucciones de naufragios o artificiales que se erigen en los alrededores del fondo marino pueden constituir un peligro para la navegación o las actividades submarinas sobre áreas de plataformas continentales. Estos objetos deben ser localizados, examinados y registrados.

Durante el barrido de sonar inicial del área, la señal del sonar debe ser examinada cuidadosamente y anotarse cuidadosamente todo lo que pueda representar una obstrucción. Los contactos deben ser registrados metódicamente:

a. Número de la señal del sonar;
b. Día y hora juliano;
c. Número de contacto (debe ser consecutivo a lo largo del levantamiento);
d. Detalles de la posición;
e. Canal de puerto/estribor;
f. Rango de pendiente;
g. Layback
h. Alto del pez de remolque sobre el fondo marino;
i. Evaluación de contacto;
j. Acciones adicionales requeridas (ej., investigación, interlíneas, miradas rápidas, sin acciones adicionales).

Los datos de profundidad y ruta del magnetómetro deben ser cuidadosamente examinados para proveer evidencia de soporte.

Al completar la evaluación los registros deben ser chequeados cuidadosamente para asegurar que el proceso ha sido conducido de manera meticulosa. Los siguientes puntos deben ser considerados

cuando se evalúa la meticulosidad de una evaluación:

a. Mientras un naufragio, áreas sucias u obstrucciones continúen siendo un peligro para la navegación u otras actividades submarinas, deben aparecer en la carta;
b. Cualquier objeto descrito como eco “no-sub” o que constituye un “sucio” en el fondo marino debe hallarse, clasificarse, posicionarse y registrarse; si es peligroso para la navegación o no, debe ser descartado;
c. La responsabilidad es clasificar o descartar cada naufragio, sucio, obstrucción o contacto cartografiado anteriormente descrito como “no-sub”, a menos que se descarten más allá de toda duda, deben permanecer en la carta.

El examen satisfactorio de cada objeto importante localizado durante un levantamiento es un factor significativo al decidir si un área ha sido completamente levantada.

6.4 Observaciones complementarias/misceláneas

La corriente de mareas, reunida durante el levantamiento mediante cualquier método, debe ser evaluada para su validez y consistencia. Donde existan datos de corrientes de mareas previos, las nuevas observaciones deben compararse para asegurar la continuidad y uniformidad. Donde no existan datos previos, las observaciones deben ser inspeccionadas para asegurar que están en concordancia con las corrientes de mareas experimentadas durante el levantamiento, lo que puede ser evaluado desde las comparaciones entre los cursos y velocidades fijadas contra los cursos y velocidades hechas bien.

Es usual para el análisis de los datos de las corrientes de mareas observadas, para la inclusión en las cartas, que sean conducidos por la Oficina Hidrográfica.

La posición media de navaids flotantes debe ser calculada desde las posiciones de bajamar y pleamar, a menos que una posición del escandallo/ancla puede deducirse de la batimetría de banda.

La posición, características, sectores y descripciones físicas de cada navaid fijo o flotante deben ser comparados contra la carta publicada, la Lista de Luces y las Direcciones de Navegación pertinentes como un chequeo de error burdo. Es importante verificar que las posiciones derivadas para los navaids cumplen los estándares requeridos.

La lista final de navaids fijos y flotantes observados y revisados dentro del área de levantamiento debe ser comparado con la lista original creada de cartas publicadas, Lista de Luces y Direcciones de Navegación, en concordancia con la parte 4.8.3, para asegurar una cobertura completo de todos los navaids.

Las variaciones de los datos publicados y confirmados por las autoridades responsables en concordancia con la parte 4.8.7 deben ser reportadas inmediatamente por medio de señales o e-mail a la Oficina Hidrográfica y con una Nota Hidrográfica de seguimiento.

Los detalles de las operaciones de radio del puerto obtenidos durante el levantamiento, en concordancia con la parte 4.8.8, deben ser rechequeados contra la Lista de señales de Radio y Direcciones de Navegación pertinentes.

Los detalles de observaciones de vida marina, bioluminiscencia, secchi y capas dispersas de profundidad deben ser presentados. Los detalles de otras características, como marcas de hoyos y cualquier muestra de sedimentos se deben dar con una descripción de cómo fueron observados.

En los frentes oceánicos, los remolinos u olas internas que han sido investigados, los detalles de su ubicación, el tipo de característica, los métodos usados y los sensores empleados deben suministrarse. Comente como se han presentado los datos y como se realizaron las conclusiones.

6.5 En conformidad con el plan

Se debe hacer una evaluación de lo completo del levantamiento y su conformidad con las Especificaciones Hidrográficas y el plan original. Las áreas que requieran de mayor investigación, incluidas las zonas que levantadas en forma incompleta o donde los requerimientos de las Especificaciones Hidrográficas no fueron alcanzados, deben ser identificadas y hay que presentar las acciones requeridas para rectificar las insuficiencias, que pueden deberse a limitaciones de los equipos o condiciones físicas. Cualquier tarea adicional requerida debe ser resaltadas y se deben hacer recomendaciones de cómo puede cumplirse exitosamente en el futuro.

7. PRESENTACIÓN DE LOS DATOS

7.1 El informe del levantamiento

Cuando el material de levantamiento de cualquier tipo es presentado a la Oficina Hidrográfica, debe estar acompañado de un informe, de alguna u otra forma, de cómo fue obtenido. En pocos casos, como en las Notas Hidrográficas, este puede ser relativamente breve, pero en la gran mayoría de casos, el Informe del Levantamiento forma el centro de los datos levantados, y debe remarcar cada aspecto del levantamiento y otros datos que son presentados con él. Para los levantamientos batimétricos convencionales, regularmente el informe se divide en dos partes; un ejemplo de su contenido se encuentra en el Apéndice 2 de este capítulo.

El Informe del Levantamiento es el medio principal por el cual el hidrógrafo a cargo aprueba el contenido de TODOS los registros levantados y, por tanto, es un documento muy importante, y el hidrógrafo debe tener considerable cuidado en su presentación. Debe dar un informe claro y amplio de cómo se llevó a cabo el levantamiento, los resultados alcanzados, las dificultades encontradas y los defectos. En la primera parte se debe dar énfasis en el análisis de las exactitudes alcanzadas y si las especificaciones detalladas en los estándares de la especificación del levantamiento y la Publicación S-44 de la OHI han sido alcanzados. La segunda parte contiene la discusión técnica necesaria para respaldar las opiniones expresadas en la primera parte. Se debe tener siempre consciente de que es tan importante decir los que no se hizo y por qué, como los que sí se hizo y cómo.

Un Informe del Levantamiento minucioso puede reducir la necesidad de una correspondencia posterior entre la Oficina Hidrográfica y la unidad del levantamiento, lo que, de otra forma, puede ser necesario para dilucidar los puntos que no han sido cubiertos en un informe menos exhaustivo. El ejemplo en el Apéndice 2 provee un esbozo del material que se siente es conveniente incluir junto con un formato adecuado a los levantamientos batimétricos. Es útil contrastar con cualquier párrafo que no es aplicable a un levantamiento particular en una declaración breve de la forma “Las observaciones … no se realizaron”.

El Informe del Levantamiento es tanto un registro imparcial del levantamiento como cualquier otro, y debe ser compilado y presentado con tanto cuidado, exactitud y prolijidad. La manera y el formato en el cual es presentado a la Oficina Hidrográfica variarán según los requerimientos nacionales.

El Informe del Levantamiento y los datos del levantamiento asociados serán presentados a la Oficina Hidrográfica donde se someterán a un proceso riguroso de validación y evaluación. Se recomienda mantener una copia completa de los datos presentados en la unidad de levantamiento hasta que todas las preguntas hayan sido respondidas. Se debe recordar que el Informe y el conjunto de datos verificados serán archivados y permanecerán como una fuente definitiva de datos para la creación de productos futuros.

7.2 Requerimiento de datos

Las Especificaciones Hidrográficas expresarán las razones del levantamiento y los requerimientos principales del producto provenientes del cliente, ej., los levantamientos de seguridad de navegación o

de rutas de cables/tuberías serán realizados con batimetría, los levantamientos arqueológicos y de minas de guerra serán liderados por detección de objetos mientras que los levantamientos ambientales pueden estar basados en textura del fondo marino y columnas de agua. La Oficina Hidrográfica detallará cuales son los datos que deben ser presentados al final del levantamiento y en qué escala de tiempo.

7.3 Formato y densidad de los datos

La mayoría de las organizaciones hidrográficas tienen estándares detallados para el formato y la densidad de los datos para que cumplan sus requerimientos. Las Especificaciones Hidrográficas detallarán las variaciones de estos estándares en el formato de datos, que dependerá del sistema de levantamiento a ser usado y los sistemas disponibles para verificación y validación de los datos presentados. Las modificaciones a la densidad de los datos serán estipuladas en las Especificaciones Hidrográficas.

Las herramientas modernas de visualización han permitido una gran e importante flexibilidad al hidrógrafo en la presentación de los datos, tanto digital como gráficamente. Se debe tener cuidado en asegurar que la cautela inherente del levantamiento hidrográfico no afecte el uso de imágenes multicolores, que pueden ser creadas con relativa facilidad y una mínima interacción humana.

7.4 Requerimiento de medios

Las Especificaciones Hidrográficas detallarán en qué tipo de medios se presentarán los datos levantados y si el cliente requiere un levantamiento completamente digital o de gráficos representativos. Los medios usados más comúnmente son:

a. DVD;
b. CD-Rom;
c. Cinta DAT;
d. Gráficos en Ozatex/Cronaflex;
e. Registros en papel.

Cualquiera sea el medio utilizado, se deben tener gran cuidado con la transmisión y el manejo para asegurar que los datos llegan a su destino final sin daños ni corrupciones. Muchos de los datos serán únicos, formarán las bases para enmiendas y mantenimiento de cartas y publicaciones hasta que se realice un nuevo levantamiento del área (probablemente dentro de muchos años), y se convertirán en parte de los archivos de la nación como registros públicos. Obedece que este material deba tener el mayor grado de seguridad todo el tiempo, ya que perder una parte o todo claramente sería costoso en esfuerzo, tiempo y material.

REFERENCIAS

Edition 1/04 2004	*Hydrographic Quality Assurance Instructions for Admiralty Surveys*	UK Hydrographic Office
17th Edition 1996	*General Instructions for Hydrographic Surveys*	UK Hydrographic Office
11th Section 1968	*Admiralty Manual of Hydrographic Surveying Volume 1*	UK Hydrographic Office
1969 to 1973	*Admiralty Manual of Hydrographic Surveying Volume 2*	UK Hydrographic Office
PP24 (Parts 1 & 2) 1987	*The Use of Side-scan Sonar for Hydrographic Surveying and the Gathering of Bottom Texture Information*	UK Hydrographic Office
5th edition – 1994	*"Hydrographic Dictionary" S–32*	International Hydrographic Organization, Monaco
5th edition – 2008	*"IHO Standards for Hydrographic Survey" S–44*	International Hydrographic Organization, Monaco
1 January 2002	*EM 1110-2-1003"Hydrographic Surveying"*	U.S. Army Corps of Engineers, Department of the Army, Washington.
1 July 2003	*EM 1110-1-1003"NAVSTAR Global Positioning System Surveying"*	U.S. Army Corps of Engineers, Department of the Army, Washington.
Fourth Edition 4 July 1976	*"Hydrographic Manual"*	Melvin J. Umbach Rockville, Md. U.S. Department of Commerce National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) National Ocean Service (NOS)
March 2003	*NOS Hydrographic Surveys "Specifications and Deliverables"*	U.S. Department of Commerce National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) National Ocean Service (NOS)

A.A. 2002/2003	"*Lezioni di Idrografia teorica ed operativa"*	Luigi Sinapi Napoli
1976	"*Electronic Surveying and Navigation"*	Simo H. Laurila John Wiley & Sons, Inc New York (USA)
January 1983	"*Electronic Surveying in practice"*	Simo H. Laurila John Wiley & Sons, Inc New York (USA)
1991	"*Radionavigation system"*	Börje Forssell Prentice Hall International (UK) Ltd
July 1974	"*Sea Surveying"*	Alam E. Ingham John Wiley & Sons, Inc New York (USA)

BIBLIOGRAFÍAS

Edition 1/04 2004	*Hydrographic Quality Assurance Instructions for Admiralty Surveys*	UK Hydrographic Office
17th Edition 1996	*General Instructions for Hydrographic Surveys*	UK Hydrographic Office
11th Section 1968	*Admiralty Manual of Hydrographic Surveying Volume 1*	UK Hydrographic Office
1969 to 1973	*Admiralty Manual of Hydrographic Surveying Volume 2*	UK Hydrographic Office
PP24 (Parts 1 & 2) 1987	*The Use of Side-scan Sonar for Hydrographic Surveying and the Gathering of Bottom Texture Information*	UK Hydrographic Office
PP25 1990	*The assessment of the Precision of Soundings*	UK Hydrographic Office
1998	*"La georeferenziazione delle informazioni territoriali"*	Luciano Surace Estratto dal "Bollettino di geodesia e scienze affini"
Prima Edizione – 2000	*"GPS Principi Modalità e Tecniche di Posizionamento"*	A. Cina Celid
Prima Ristampa – 2001	*"Topografia"*	L. Costa Cooperativa Libraria Universitaria – Genova
Terza Edizione – 1949	*"Manuale di Idrografia per la costruzione delle carte marine*	Manoia G. Romagna Accademia Navale di Livorno
II 3100. Quinta Edizione – 1992/Prima Ristampa – 1998	*"Manuale dell'Ufficiale di Rotta"*	Istituto Idrografico della Marina, Genova
NorMas FC 1028 Seconda Edizione – 1978	*"Norme di Massima per i Rilievi Idrografici"*	Istituto Idrografico della Marina, Genova
5th Edition – 1994	*"Hydrographic Dictionary" S–32*	International Hydrographic Organization, Monaco
5th Edition – 2008	*"IHO Standards for Hydrographic Survey"* *S–44*	International Hydrographic Organization, Monaco

1 January 2002	*EM 1110-2-1003 "Hydrographic Surveying"*	U.S. Army Corps of Engineers, Department of the Army, Washington.
1 June 2002	*EM 1110-1-1004 "Geodetic and Control Surveying"*	U.S. Army Corps of Engineers, Department of the Army, Washington.
1 July 2003	*EM 1110-1-1003 "NAVSTAR Global Positioning System Surveying"*	U.S. Army Corps of Engineers, Department of the Army, Washington.
31 August 1994	*EM 1110-1-1005 "Topographic Surveying"*	U.S. Army Corps of Engineers, Department of the Army, Washington.
Fourth Edition 4 July 1976	*"Hydrographic Manual"*	Melvin J. Umbach Rockville, Md. U.S. Department of Commerce National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) National Ocean Service (NOS)
March 2003	*NOS Hydrographic Surveys "Specifications and Deliverables"*	U.S. Department of Commerce National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) National Ocean Service (NOS)
A.A. 2002/2003	*"Lezioni di Idrografia teorica ed operativa"*	Luigi Sinapi, Napoli
1976	*"Electronic Surveying and Navigation"*	Simo H. Laurila John Wiley & Sons, Inc New York (USA)
January 1983	*"Electronic Surveying in practice"*	Simo H. Laurila John Wiley & Sons, Inc New York (USA)
1991	*"Radionavigation system"*	Börje Forssell Prentice Hall International (UK) Ltd
July 1974	*"Sea Surveying"*	Alam E. Ingham John Wiley & Sons, Inc New York (USA)

———————

APÉNDICE 1
GUIA DE ESTIMACIÓN Y PLANIFICACIÓN DE LEVANTAMIENTOS

PARTE I ACTIVIDAD DE PRE LEVANTAMIENTO

1. ¿Puede el posicionamiento ser calibrado y validado cerca del área del levantamiento? Si no es así, realice las calibraciones tan cerca del área como sea posible.
   ¿Puede un equipo de reconocimiento ir con anterioridad? Si es así, el tiempo para ejecutar el paso 3 será más reducido.

2. Hora estimada de salida desde el puerto base ……..
   Duración del desplazamiento en horas …….
   ¿Se necesitan observaciones durante el desplazamiento? Si/No
   Hora estimada de llegada al área de estudio…….....
   Nota: Considere un tiempo adicional durante el desplazamiento para probar y poner a punto los sensores.

3. Reconocimiento y coordinación local. .....días
   Calibrar el sistema de posicionamiento si fuera necesario.
   ¿Se puede instalar el mareógrafo/regla de marea?
   Si es así, cancele el paso 4.

4. Establecer la(s) estación(es) de marea.. .....días

5. Establecer el suficiente control geodésico. .....días
   (Las observaciones GPS deben incluirse si son requeridas)
   e instalar los equipos de ayudas a la navegación para iniciar los trabajos en la embarcación hidrográfica
   ¿Se puede ejecutar conjuntamente con los pasos 3 y 4?
   Si es así, cancele el paso 5

6. Calibrar el sistema de posicionamiento dentro de los límites del levantamiento.
   Número de estaciones de calibración …….
   Tiempo por estación ……. Total …….horas.
   Recorrido total entre estaciones …….horas.
   Total ……../24 .....días

7. Obtener el primer registro de mediciones de velocidad del sonido en el área de estudio.
   ¿Puede esta actividad combinarse con la calibración de las ayudas a la navegación de la embarcación hidrográfica?
   Si es así, cancele el paso 7. .....días

   TOTAL .....días A*

PARTE II DETERMINACIÓN DEL MILLAJE DE LAS LINEAS A SONDAR

La longitud promedio de las líneas de sondeo principales a espaciamiento estándar. …… mn x Nº de líneas …..

Dividir por la velocidad de avance planificada……. nudos =

Tiempo tomado.....horas

Tiempo de giro al final de la línea …… min x Nº de líneas/ 60 ….. horas

subtotal (i).....horas

Repetir en las líneas espaciadas abiertas subtotal (ii).....horas

Interlíneas subtotal (iii).....horas

Líneas transversales subtotal (iv).....horas

Otras líneas sólo de sondeo subtotal (v)..... horas

SUBTOTAL (nave) .....horas

% para investigación de bajos fondos …agregar para obtener TOTAL (nave).....horas

Dividir por el Nº de horas productivas por día (¿alguna restricción?)

TOTAL (nave).....días B*

Repetir la evaluación para el trabajo de bote TOTAL (bote).....días C*

¿Puede el trabajo del bote ser ejecutado simultáneamente con el trabajo del buque? Si es así, el total C* puede ser incluido: (en el plan incluir el total B o C, el que sea mayor, considerando que el trabajo del buque y del bote no sean mutuamente exclusivos).

o

Para los cruceros oceanográficos el cálculo abarcará al número de estaciones de observación, el tiempo de realización de muestreos en cada estación y el tiempo de recorrido entre estaciones. Similarmente el formato anterior puede ser adaptado para los levantamientos geofísicos.

PARTE III OTRAS OBSERVACIONES A FLOTE

Nº de muestras de fondo marino ...x el tiempo por muestra min/60	= ….. horas
Distancia entre muestras ….. mn x Nº/SOA (…. Nudos)	=…... horas
Total/horas productivas al día	=…… días D*
Nº de naufragios que necesitan barrido con cable…… Nº de naufragios barridos al día …….	Subtotal ….días
Nº de naufragios que necesitan investigación…….. Tiempo por investigación más el tiempo de tránsito …… horas Dividir por las horas productivas por día ……. Para obtener	Subtotal ….días
Repetir para rechazar búsquedas	Subtotal ….días
	TOTAL…....días E*
Nº de observaciones de corrientes de marea …….. Tiempo por observación más el tiempo de tránsito …… horas/24	TOTAL …..días F*
Nº de boyas que necesitan fijación …… Tiempo por boya (flujo y reflujo) más el tiempo de tránsito….. Total de tiempo dividido por las horas productivas por día	TOTAL …..días G*
Otras observaciones (ej.) Tomas Fotográficas y Tareas Misceláneas	TOTAL …. días H*
Total de Trabajo de Campo a Flote de la B*hasta la H*	TOTAL ….. días I*

Nota. Si el bote puede usarse para cualquiera de estas, el total será reducido por esa proporción. Note que un día de trabajo productivo para un bote trabajado a menudo excederá las 6 horas. Similarmente si hay más de una unidad disponible para el levantamiento, el total de tiempo tomado será reducido. En este caso, es normal la práctica de dividir el área en bloques y asignar unidades individuales a cada bloque, asegurando el traslapo apropiado para propósitos de comparación. Cada unidad iría a través de su proceso detallado planificado para su propio bloque.

PARTE IV TRABAJO DE CAMPO EN TIERRA

Además del trabajo geodésico inicial en tierra, se debe considerar lo siguiente:

Tiempo necesario para ejecutar el control geodésico .....días
Tiempo necesario para coordinar otros objetivos .....días
Nº de millas de la línea de costa a ser levantadas/millas por día .....días

TOTAL……días J*

Si I* es mayor que J*, entonces J* será sumada en el tiempo de trabajo a flote. La planificación cuidadosa reducirá el tiempo de tránsito improductivo a los equipos de trabajo en tierra

Tiempo para la calibración post levantamiento y recuperación de equipo .....días K*

TOTAL DE TRABAJO DE CAMPO = B* + I* (o J* si es mayor) + K* .....días L*

PARTE V TIEMPO IMPRODUCTIVO

Existe un número de factores que aumentará el tiempo requerido para completar el levantamiento. La siguiente lista da algunas de las consideraciones de planificación, pero puede haber otros asuntos relevantes (ej. Trabajo en campo de hielo):

Estimación:

Días perdidos por el mal tiempo (ej. Invierno 25%, verano 10%) .....días

Días perdidos por defectos (Epoca/estado de reparación/clima) .....días

Días “perdidos” por actividades planificadas ajenas al levantamiento .....días

Días perdidos por actividades no planificadas (ej 10%) .....días

TOTAL DE DIAS PERDIDOS .....días M*

TOTAL DE DIAS EN EL AREA DEL LEVANTAMIENTO = L* + M* .....DIAS

DURACIÓN TOTAL DEL LEVANTAMIENTO = A + L + M + Tiempo de paso de y hasta el campo de estudio.

APÉNDICE 2

TABLA 1

Sistemas de Posicionamiento Horizontal y Criterios de Selección

Sistema de posicionamiento	Precisión de posición estimada en metros (para un nivel de confianza del 95%)	Permisible para el Orden de Levantamiento			
		Especial	1	2	3
Resección de Ángulos utilizando Sextante	2 - 10	No	No	Si	Si
Intersección de Ángulos utilizando Teodolito	1 - 5	Si (*)	Si	Si	Si
Intersección de distancia/visual	3 - 10	No	No	Si	Si
Cable de posición (dinámico) <200 metros de la línea base >200 y < 600 metros de la línea base >600 metros de la línea base	 1 - 2 2 - 6 6 - 50	 Si No No	 Si Si (*) No	 Si Si Si (*)	 Si Si Si
Intersección de Ángulo y Distancia	0.5 - 3	Si (*)	Si	Si	Si
Medición de Distancia Electrónica/ Estación Total (dentro de 2 km de la estación de referencia)	0.3 - 1	Si	Si	Si	Si
Medición de Distancia Electrónica/ Estación Total (a más de 2 km de la estación de referencia)	1 - 3	No	Si	Si	Si
Sistema de Posición Electrónico de Alta Frecuencia (Micro ondas o UHF)	2 - 4	No	Si	Si	Si
Sistema de Posicionamiento Electrónico de Frecuencia Media (HF)	3 - 10	No	Si (*)	Si	Si
Sistema de Posicionamiento Electrónico de Frecuencia Baja (LF – Decca)	10 - 150	No	No	Si	Si
Sistema de Posicionamiento Electrónico de Frecuencia muy Baja	45 - 310	No	No	No	Si(*)
STARFIX	5	No	Si(*)	Si	Si
GPS absoluto Sistema Posicionamiento Puntual (con Disponibilidad Selectiva hasta Mayo año 2000)	75 - 100	No	No	No	Si
GPS absoluto Sistema Posicionamiento Puntual (sin Disponibilidad Selectiva) S/A)	10 - 30	No	No	Si (*)	Si
GPS absoluto Sistema Posicionamiento Puntual	5 - 15	No	Si (*)	Si	Si

Sistema de posicionamiento	Precisión de posición estimada en metros (para un nivel de confianza del 95%)	Permisible para el Orden de Levantamiento			
		Especial	1	2	3
DGPS código de fase desde la estación de referencia local	2 - 5				
0 km. < Distancia < 2 km.		Si (*)	Si	Si	Si
2 Km. < Distancia < 100 Km.		Si	Si	Si	Si
DGPS código de fase (radiofaro/WAAS)	2 - 10				
0 km. < Distancia < 250 km.		No	Si	Si	Si
250 Km. < Distancia < 350 Km.		No	Si (*)	Si	Si
RTK DGPS fase portadora desde la estación de referencia local	0.1 - 1				
0 Km. < Distance < 20 Km.		Si	Si	Si	Si
20 Km. < Distance < 40 Km.		No	Si	Si	Si

(*) Cumple marginalmente.

APÉNDICE 3

TABLA 2

Clasificación de los Anchos de Banda de los Sistemas de Posicionamiento Electrónicos usados en los Levantamientos Hidrográficos

Ancho de Banda	Símbolo	Frecuencia	Sistema
Muy Baja Frecuencia	VLF	10-30KHz	Omega
Baja Frecuencia	LF	30-300 KHz	LORAN-C
Frecuencia Media	MF	300-3000 KHz	Raydist, Decca
Alta Frecuencia	HF	3-30 MHz	Frecuencia terrestre fundamental 10.23 MHz
Muy Alta Frecuencia	VHF	30-300 MHz	VOR Aeronavegación
Frecuencia Ultra Alta	UHF	300-3000 MHz	Del Norte
Banda L			NAVSTAR GPS
Frecuencia Súper Alta	SHF	3-30 GHz	(EPS micro ondas)
Banda C			Motorola
Banda S			Cubic
Banda X			Del Norte
Luz Visible			EDM*
Luz Láser			EDM
Luz Infrarroja			Edm, Polarfix

* Instrumento de Medición de Distancia Electrónica

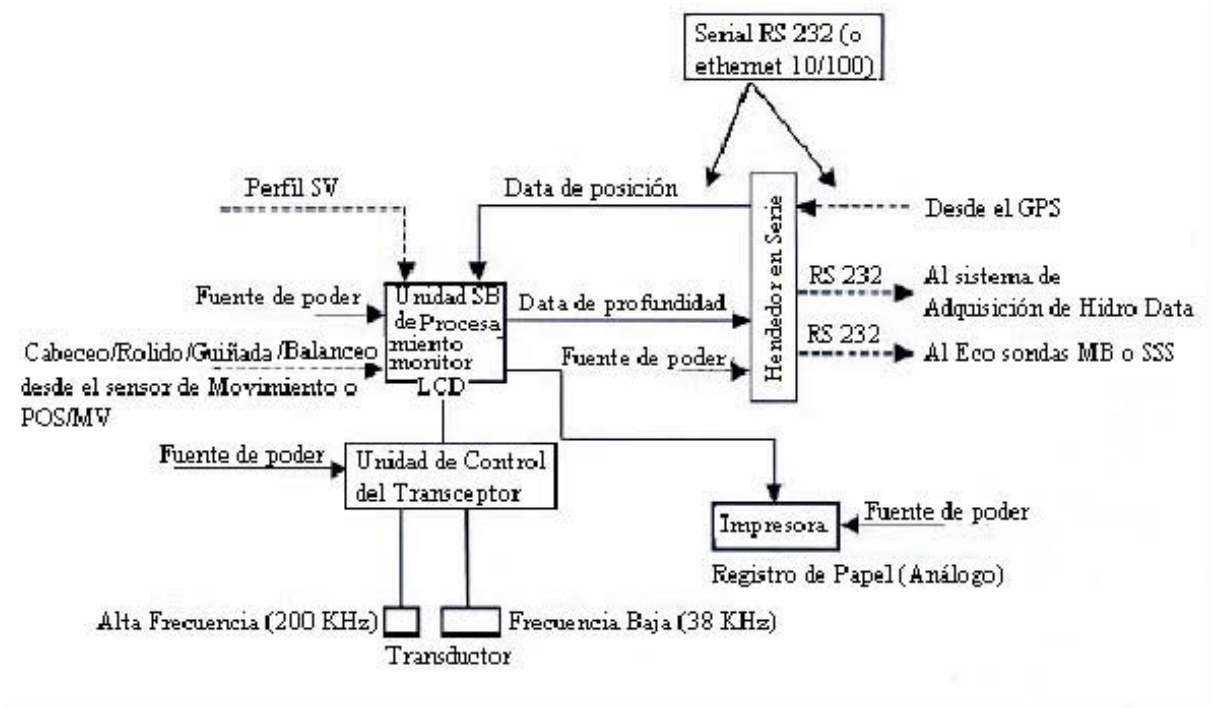
TABLA 3

Campo de Aplicación de los Sistemas de Posicionamiento Electrónico usados en los Levantamientos Hidrográficos

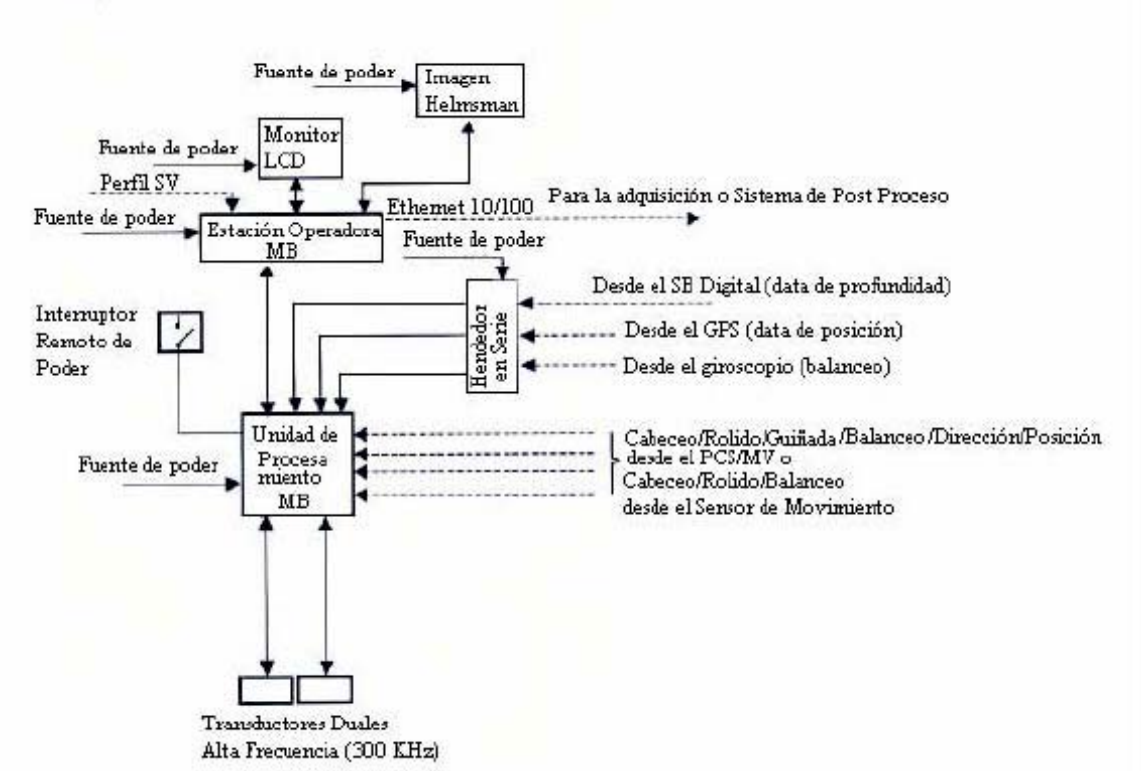
Rango de Frecuencia	Tipo de Sistema	Distancia Operable	Campo de Aplicación
Rango de Frecuencia Bajo y Medio	Fase hiperbólica/ diferencial de pulso	Pueden llegar más allá del horizonte visible o micro ondas	Eran más apropiados para propósitos de navegación de largo alcance o para trabajo de exploración geofísico Costa afuera.
Rango de Frecuencia Super Alto (SHF)	Sistemas micro ondas (fase circular)	Generalmente están limitados al alcance visual	Apropiados para el control preciso de las embarcaciones de estudio costa afuera y a las dragas. El rango es adecuado para cubrir la mayoría de las construcciones portuarias, en ríos y costeras.
Onda de luz modulada y espectro infrarojo	Instrumentos de medición de Distancia Electrónica (EDM) (ej. Estación total electrónica)	Sobre distancias relativamente limita-das, normalmente menores a 3 o 5 millas de costa afuera	Estos sistemas dan la mayor precisión en la medida de distancias en los levantamientos hidrográficos.

APÉNDICE 4

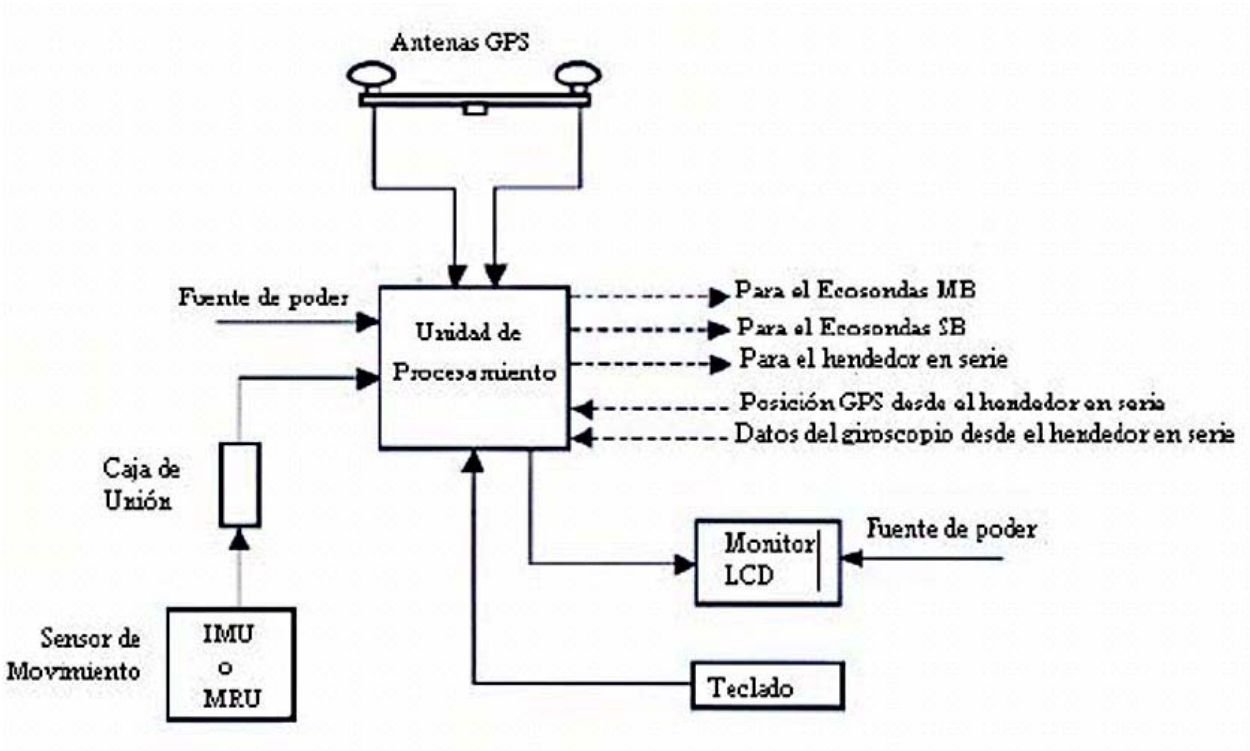
Ecosonda Digital Monohaz (SB)
Diagrama de Bloque e Interconexiones



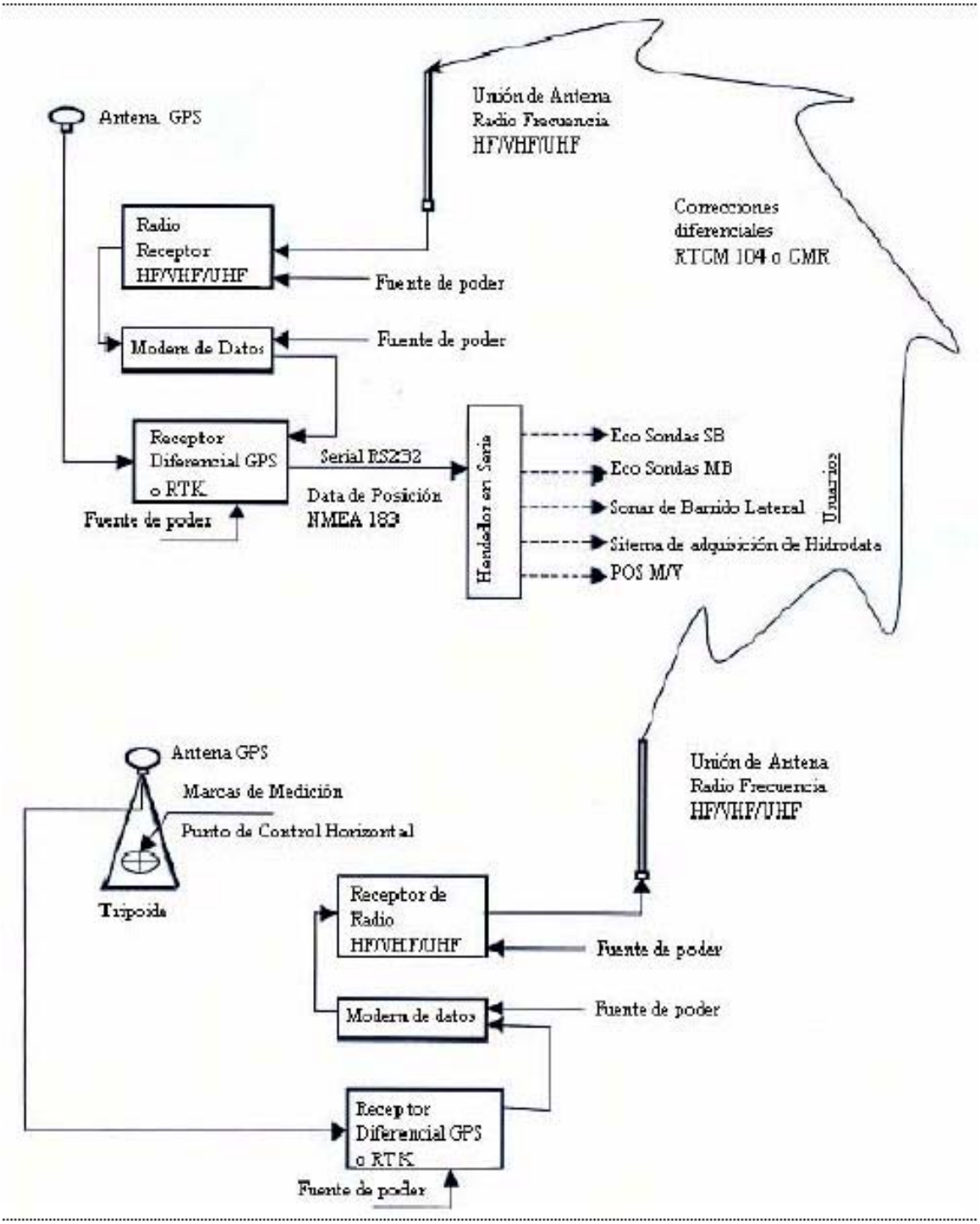
Ecosonda Digital Multi Haz (MB)
Diagrama de Bloque e Interconexiones



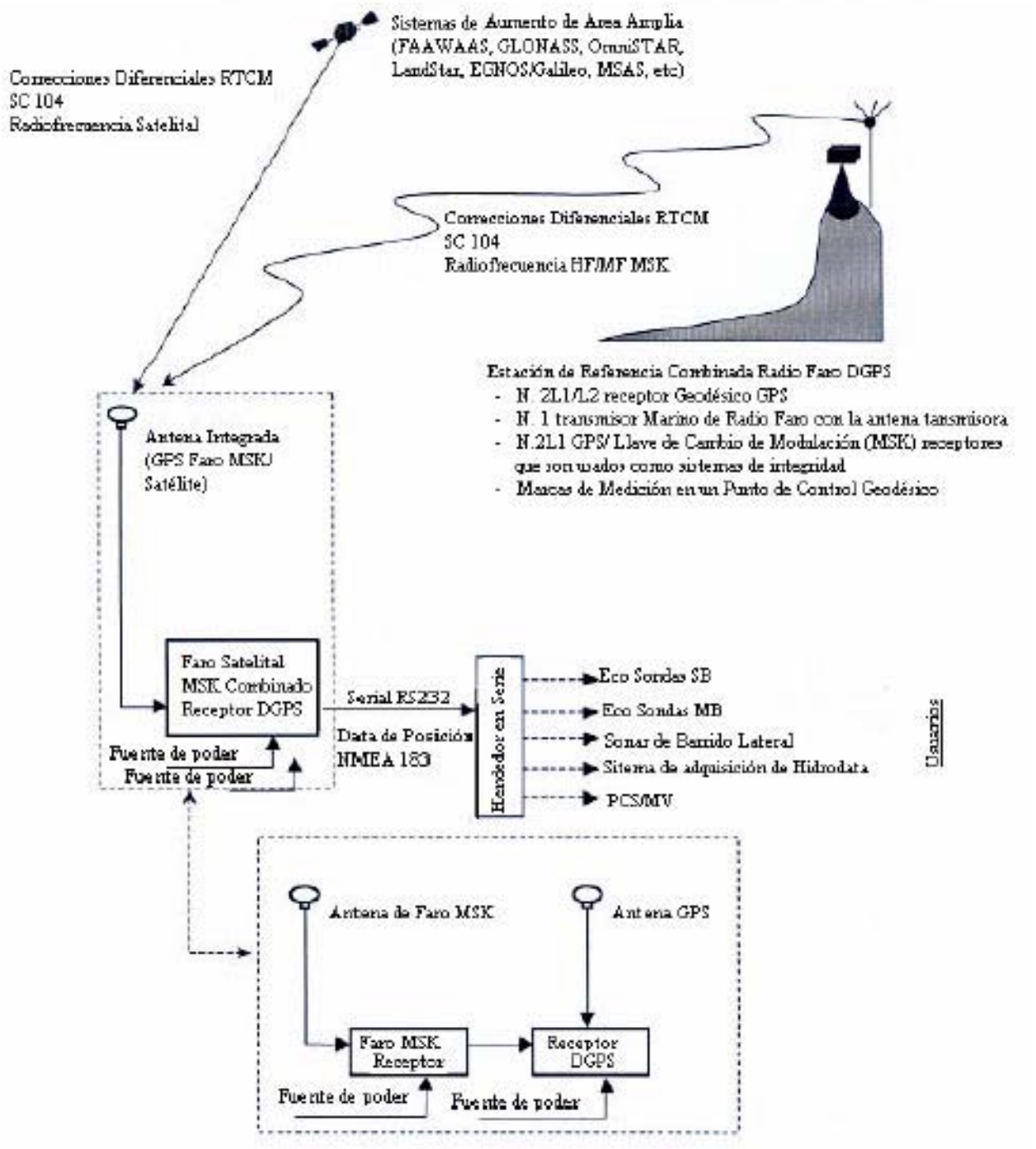
Posición Integrada y Sistema de Orientación para Embarcaciones de Motor (POS M/V)
Diagrama de bloque e Interconexiones



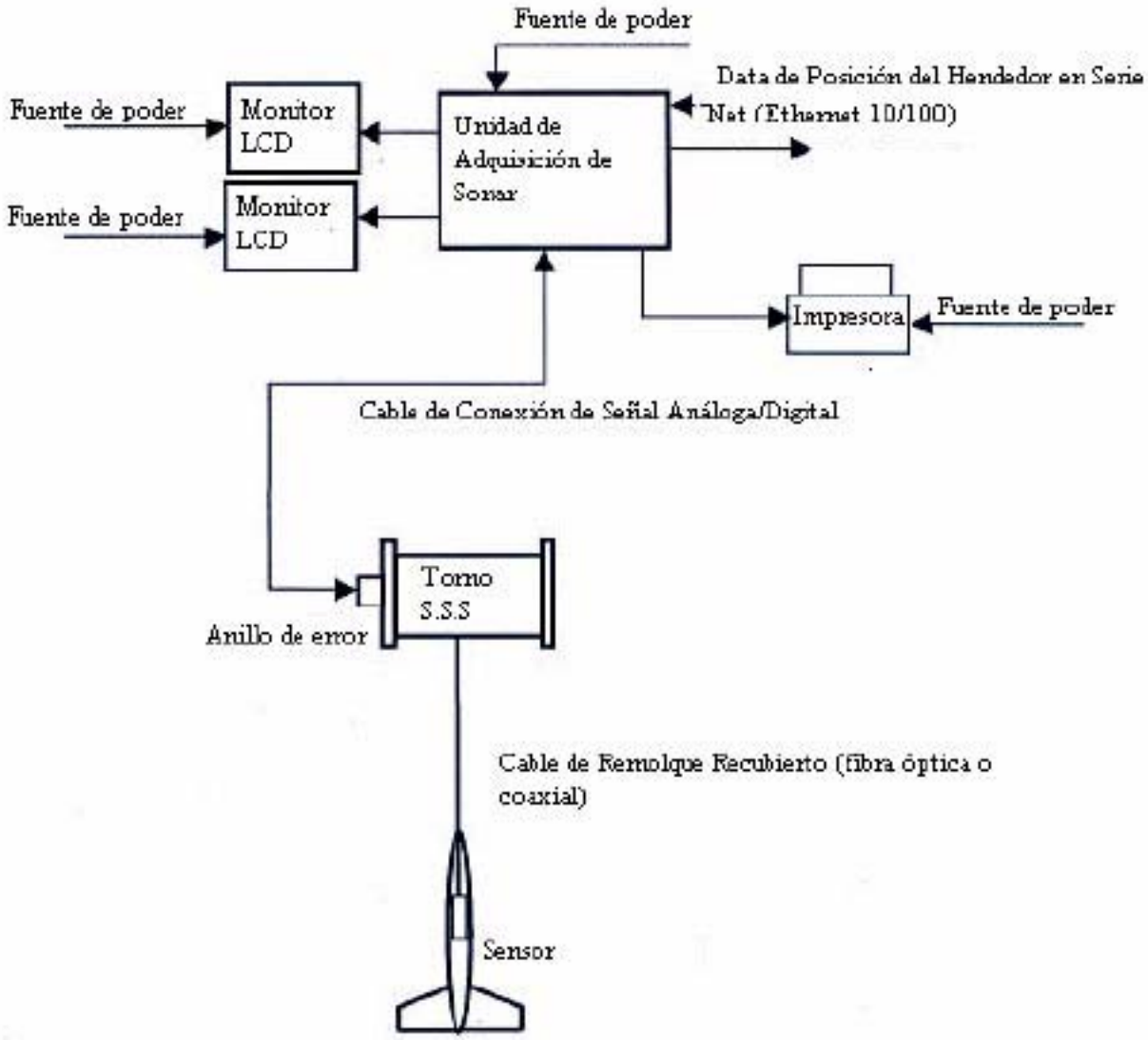
Sistema Diferencial de Posicionamiento Global GPS
(Estación de Referencia y Móvil)
Diagrama de Bloque e Interconexiones



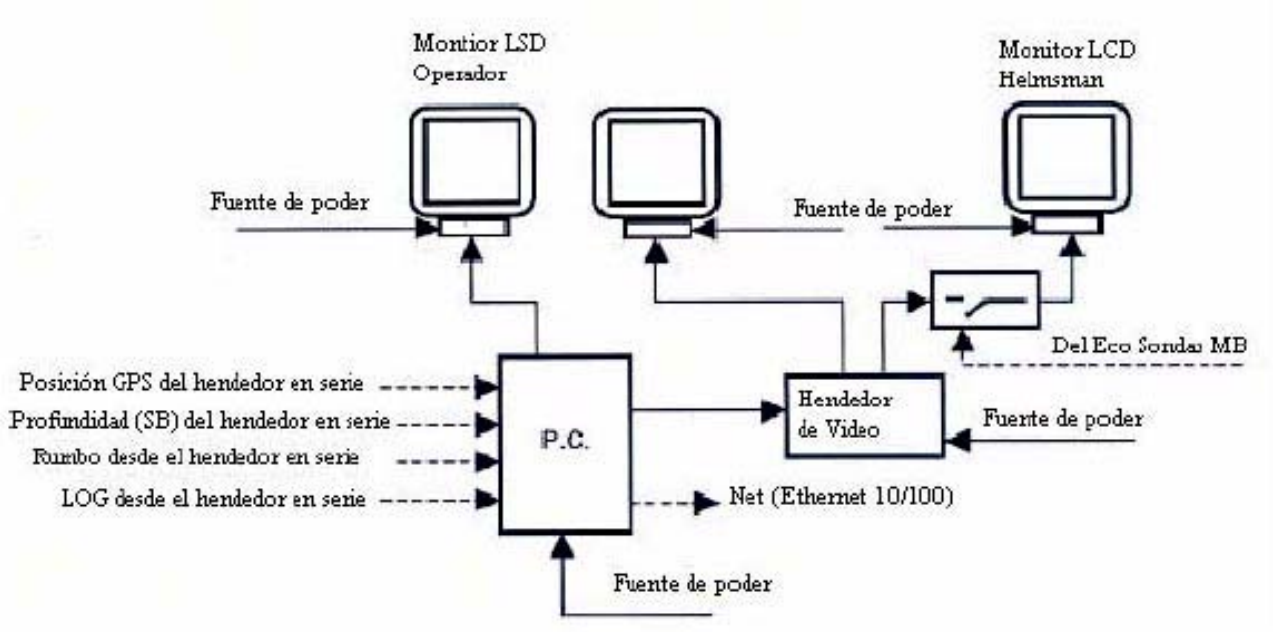
Sistema de Posicionamiento Diferencial GPS
Servicio de Radiofaro DGPS o Sistemas de Transmisión Satelital
Diagrama de Bloque e Interconexiones



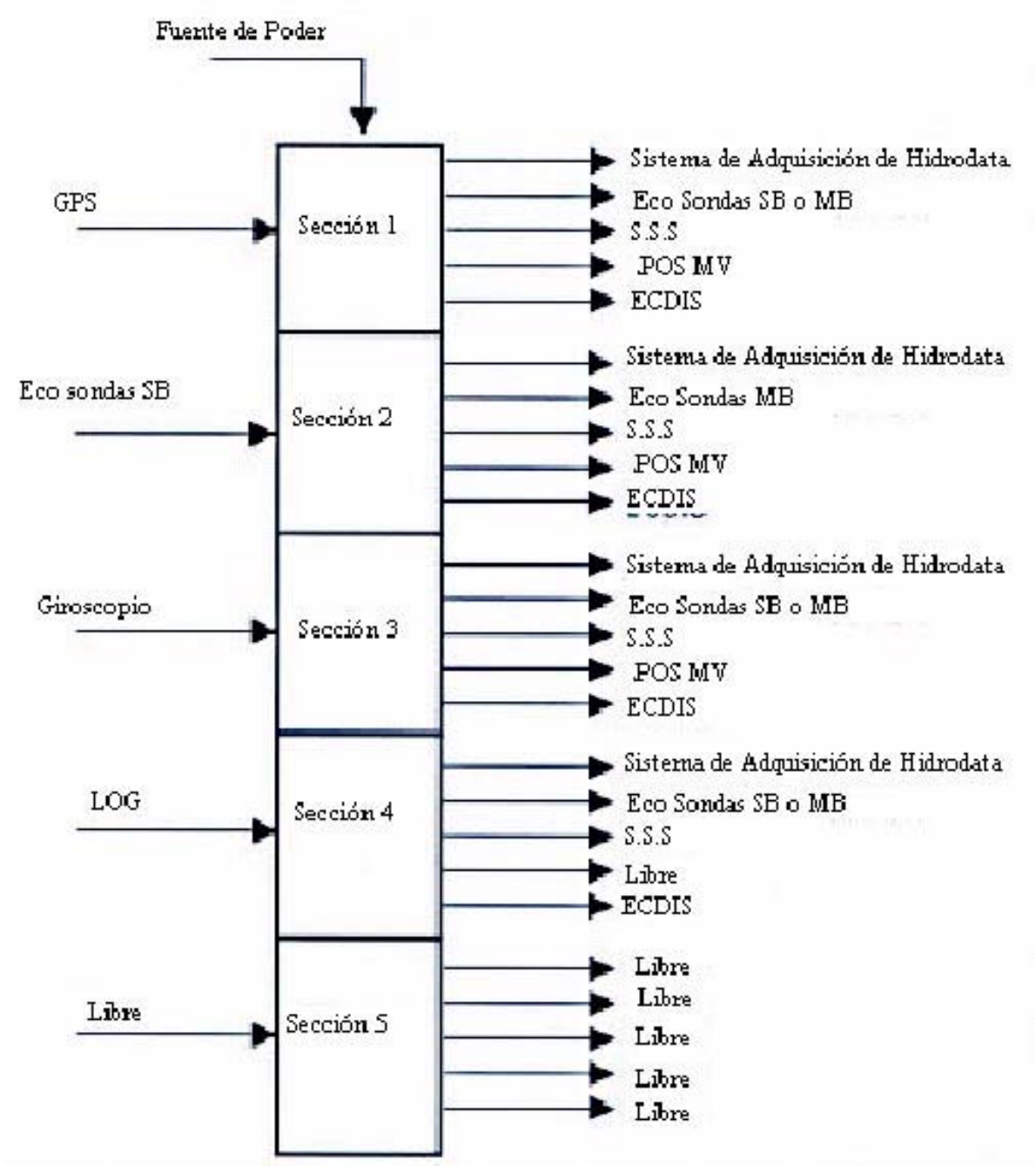
Sistema de Sonar de Barrido Lateral
Diagrama de Bloque e Interconexiones



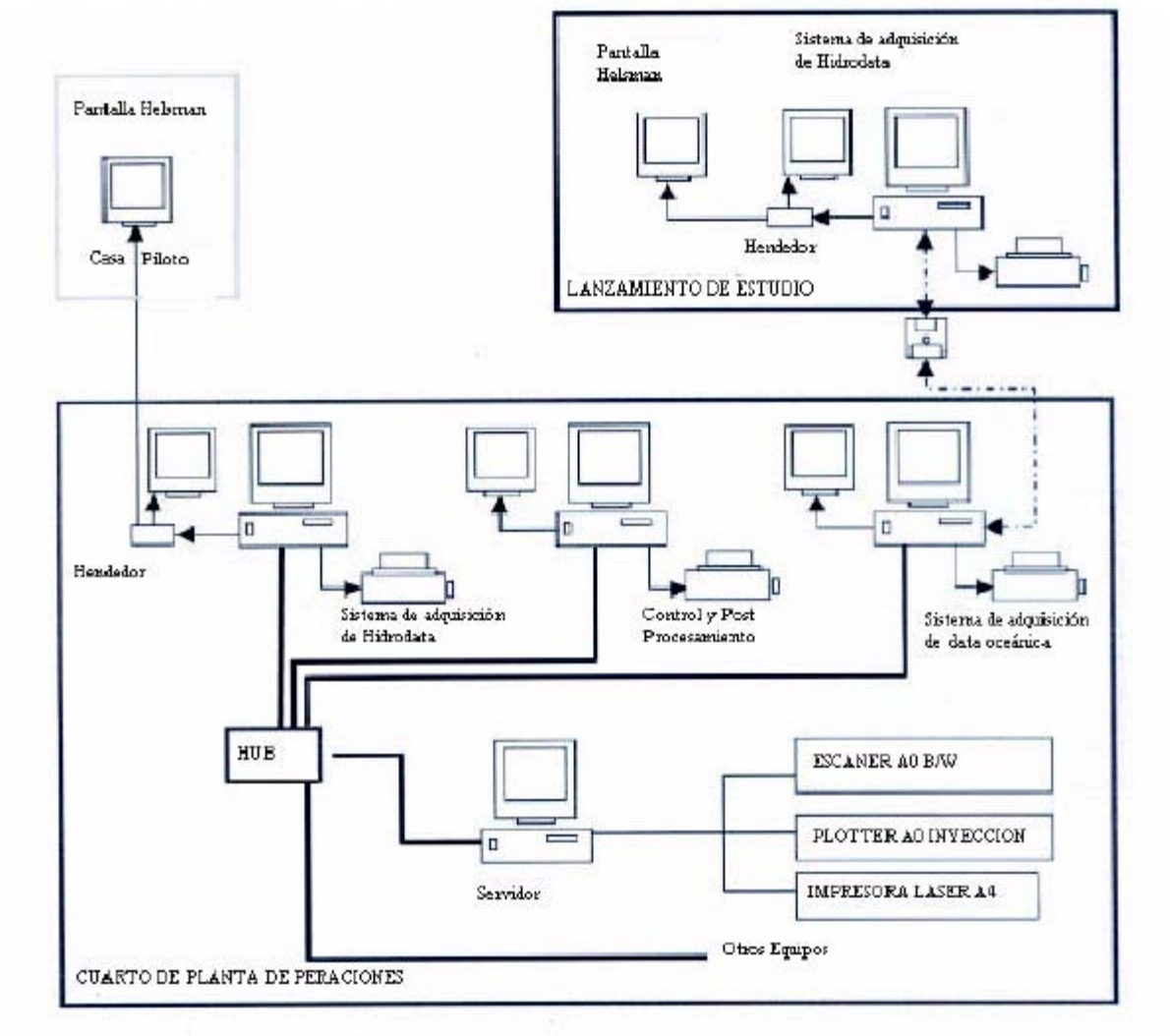
Sistema de Adquisición de la Data (Hardware/Software)
Diagrama de Bloque e Interconexiones



Interfase del Multiplexor en serie
Diagrama de Bloque e Interconexiones



Configuración de Sistemas Hidrográficos Automatizados Tipicos (HW/SW) Diagrama de Bloque e Interconexiones



APÉNDICE 5
MODELO DE INFORME DE LEVANTAMIENTO

INGLATERRA, COSTA SUR DE

APROXIMACIONES A LA BAHIA AGUAS PROFUNDAS

BUQUE HIDROGRAFICO *[Nombre]*

LEVANTADO POR *[Nombre del hidrógrafo]*

[Fecha de inicio y término del Levantamiento]

1:25.000

INFORME DEL
LEVANTAMIENTO

[Fecha del Informe] *[Número de Referencia del Levantamiento]*

CONTENIDO

PARTE 1 DESCRIPTIVA

Sección

1. Introducción

2. Control Geodésico

3. Sistema Digital de Levantamiento

4. Equipos de Ayuda a la Navegación (Navaids)

5. Batimetría

6. Ecosonda

7. Muestra del Fondo Marino

8. Topografía y Textura del Fondo Marino

9. Marea y Datum de las Sondas

10. Corrientes de Mareas

11. Naufragios y Obstrucciones

12. Señales luminosas y Boyas

13. Línea de Costa, Topografía, Distancias Medidas, Objetos y Marcas Notables

14. Derroteros y Nomenclatura

15. Estaciones de Radio Señales

16. Observaciones Adicionales

17. Misceláneos

PARTE 1

1. Introducción

1.1 Establezca las fechas inicio y de término. Subraye cualquier actividad de servicio general que interrumpió el curso del levantamiento.

1.2 De una explicación general del clima, incluyendo el clima de la estación y las variaciones experimentadas. Los comentarios del clima son importantes cuando se estudian áreas inestables y críticas, que requieren condiciones hidrodinámicas óptimas para determinar la profundidad mínima absoluta sobre cada objeto. Los comentarios son también necesarios de cómo el clima afecta la calidad de los datos – ej. El movimiento de la nave y el desempeño del compensador del balanceo, la degradación del sonar de rebusca, la estabilidad de las ayudas a la navegación durante las tormentas, el efecto de las condiciones del mar y de las alturas de la rugosidad del arena.

1.3 Comentarios de cualquier actividad extraña (ej. Distancias o saturación de la pesca) que afectaron la ejecución del estudio. Mencione si la fuerza de la marea causó cualquier dificultad particular. Mencione cualquier problema logístico.

1.4 Describa la opinión general sobre todo el levantamiento. Identifique cualquier área que necesite un estudio posterior.

2. Control Geodésico

2.1 Especifique cuanto control geodésico se empleó y explique cómo se estableció el nuevo control; haga un comentario general del grado de precisión logrado y resalte cualquier dificultad encontrada en relación al control existente.

3. Sistema Digital de Levantamiento

3.1 Si es aplicable, especifique que sistemas y tipos de programas fueron utilizados. Comente cualquier mejora implementada durante el levantamiento, dando las fechas de instalación.

3.2 Mencione las dificultades mayores encontradas o los defectos que tuvieron un impacto importante en el progreso o en la calidad del estudio y de una opinión de la efectividad de los sistemas usados. No es necesario incluir los detalles de los defectos menores.

3.3 Se debe hacer una revisión de todas las profundidades importantes detectadas por el ecosondas en los registros digitales, indicando como se lograron. Se debe dar las razones si la revisión no se ha hecho.

4. Equipos de Ayuda a la Navegación (Navaids)

4.1 Declare el tipo y modo de operación de los sistemas utilizados.

4.2 Cuando la solución DGPS haya utilizado una estación de referencia, describa la geometría de la red de estaciones de referencia y la distancia respecto del área del levantamiento. Cuando se utilice una solución basada en una estación DGPS de referencia sencilla en vez de una solución de red, explicar el por qué.

4.3 Describa cómo y dónde los sistemas fueron calibrados y /o validados.

4.4 De la opinión de los hidrógrafos sobre la calidad y la confiabilidad del equipo, y de la precisión alcanzada. Comente sobre cualquier período de baja precisión de posicionamiento observada. Incluya los detalles de cualquier falla de la estación de referencia GPS o de cualquier incidencia de anormalidad de alta latencia en la entrega de las correcciones de las pseudos distancias.

5. Batimetría

5.1 Indique el tipo de ecosonda utilizado y sus frecuencias de transmisión, especialmente si se utilizó doble frecuencia. Indique el resultado de las pruebas de asentamiento hechas. Indique el tipo de compensación de balanceo utilizado y de un resumen de su comportamiento.

5.2 Indique el método para obtener la velocidad de sonido (SV) y la frecuencia de la SV y de las observaciones de revisión; de una opinión de su precisión. Informe las principales SV usados, si se aplican.

5.3 Indique la dirección de la línea de sondeo, el espaciado de línea y la velocidad promedio sobre tierra. Para las rebuscas de bajos fondos etc, reporte la densidad de las líneas de sondeo y las características del fondo marino obtenida por el haz del ecosonda.

5.4 Describa cualquier enfilación o rumbos recomendados.

5.5 Indique la estimación del Hidrógrafo sobre la precisión general de los sondeos, resalte las razones por las que la precisión estándar descrita puede no haber sido cumplida. Incluya la opinión de las dificultades del levantamiento en relación a la densidad de la línea.

(Ver el párrafo 8 (Topografía del Fondo Marino y Textura – Comparación con Estudios Anteriores) y el párrafo 9 (Mareas y Datum de las Sondas – Averiguación de las Intersecciones de las líneas de cruce); estas constituirán el soporte en la precisión estimada, la evaluación de la precisión de la carta co-tidal, y en la opinión general del Hidrógrafo encargado de los temas batimétricos y de la posterior evaluación de los trabajos).

6. Ecosonda

6.1 Indique el tipo de ecosonda utilizado y su frecuencia de transmisión.

6.2 Mencione el tipo y la frecuencia de las revisiones de confianza realizadas. Incluya la opinión del Hidrógrafo sobre la calidad y de la confiabilidad del equipo ecosonda.

6.3 Indique las líneas seleccionadas a sondar, el intervalo entre líneas, alcance del sonar, y el SOA promedio. De un estimado del efecto de las corrientes de marea en la posición lateral del sensor y describa cualquier precaución tomada para asegurar la cobertura completa del ecosonda.

6.4 Indique la estimación aplicada para el alcance del ecosonda al final de las líneas y si se ejecutó una línea extra, fuera de los límites del área de estudio, requeridos para lograr el recubrimiento fijado para el ecosonda en la especificación del estudio.

6.5 Indique la opinión del Hidrógrafo sobre la dificultad de la cobertura del ecosonda y en una explicación definitiva la extensión del alcance del estudio.

7. Muestras del Fondo Marino

7.1 Especifique el intervalo de la muestra y comente los rasgos interesantes sobre cualquier muestra particular obtenida. Describa cualquier comentario que el Hidrógrafo pueda tener en relación a la distribución de los sedimentos encontrados en las muestras obtenidas. Informe el número de muestras obtenidas.

7.2 Indique el método de muestreo utilizado y mencione cualquier problema con el equipo.

8. Topografía y Textura del Fondo Marino

8.1 Dé una breve descripción sobre la topografía del área estudiada. Indique la opinión del Hidrógrafo a Cargo de todos los rasgos importantes, su naturaleza y distribución a través del área estudiada. Comente cualquier dificultad experimentada en interpretar el trazo del sonar cuando se preparan los trazados de las texturas.

8.2 Indique la razón por la cual no fue posible investigar un bajo fondo tan minuciosamente como se esperaba, y estime la confiabilidad de las profundidades mínimas obtenidas; identifique el trabajo extra que se necesita para llegar a la profundidad mínima absoluta:

Ej.: “el bajo fondo fue examinado completamente por el eco sondas pero debido a la probabilidad de existencia de un pináculo de roca, debe ser barrido con cable para garantizar la obtención de la profundidad mínima.
El mal clima impidió que esto se completara durante el levantamiento.”

8.3 Comente las áreas menores a 40 metros de profundidad que no fueron interlineadas.

8.4 Mencione las actividades de dragado y áreas de deposito.

8.5 Comente cualquier movimiento de ondulación arenosa al comparar con los estudios anteriores

8.6 Indique la opinión del Hidrógrafo sobre la comparación con otros estudios y cualquier duda acerca de la detección de las profundidades de bajo fondos existentes, o las recomendaciones para retener profundidades estudiadas anteriormente. Si no ha sido posible revisar y confirmar o desaprobar cada objeto en la carta en el área del levantamiento, explique por qué.

8.7 Donde se compruebe que es imposible sondear una franja de línea de costa debido a la presencia permanente de rompientes, ello se debe anotar en el Anexo N.

9. Marea y Datum de las Sondas

9.1 Indique donde se instaló la estación de marea y cómo se estableció el Datum de Sondeo. Para la escala de mareas describa cómo se verificó la fijación del cero.

9.2 Describa cualquier transferencia de datum y cualquier uso dado a las cartas co-tidales.

9.3 Describa todo ajuste del nivel del Datum de Sondeo que fue necesario efectuar durante el curso del levantamiento.

9.4 Indique los tipos de mareógrafos o escalas de marea utilizados, indique en que período se hicieron las observaciones y si éstas fueron analizadas

9.5 Mencione cualquier mal funcionamiento del mareógrafo y cualquier dificultad en obtener las lecturas de marea como oleaje y surgencias.

9.6 Informe el Puerto Estándar usado para la predicción de mareas, o explique el uso dado a las constantes harmónicas que originaron las predicciones de la altura de la marea.

9.7 Indique la opinión del hidrógrafo en cuanto a la precisión del nivel utilizado para establecer el Datum de Sondeo y la precisión de la data de marea en términos de altura y tiempo. Basado en el análisis cuidadoso de las líneas de intersección, comente a cerca de la precisión lograda luego de haber aplicado las correspondientes correcciones. (ver párrafo 5).

10. Corrientes de Marea

10.1 Indique dónde, cuándo, y cómo, se realizaron las observaciones de corrientes de marea.. Mencione cualquier problema con el equipo.

10.2 Explique las razones por las que una estación de marea requerida no fue observada o fue observada en una posición distinta a la ordenada.

10.3 Si las observaciones no se tomaron en las mareas de sicígia, Explique por qué no fue así y estime las consecuencias en la calidad de la data a ser entregada, Indique qué tipo de análisis se ha llevado a cabo.

10.4 Proporcione una breve síntesis de las observaciones obtenidas y de la opinión del hidrógrafo de la precisión de las observaciones y de los efectos del clima en la calidad de la data.

10.5 Si no se llevaron a cabo observaciones, proporcione una apreciación breve y cualitativa de las corrientes de marea, basándose en las experiencias de maniobrar la nave en las líneas de sondeo, o de los pescadores u otros con conocimiento local.

11. Naufragios y Obstrucciones

11.1 Indique el método de investigación de naufragios y obstrucciones, incluyendo las técnicas utilizadas para el barrido con cable y el número de naufragios y obstrucciones que fueron barridos.

11.2 Comente cualquier problema encontrado para obtener las profundidades mínimas.

Ej. “No se pudo barrer con cable ya que el naufragio estaba en un punto nodal”, o “el clima era muy fuerte para barrer con cable pero la profundidad obtenida encontrada con el eco sondas se considera suficiente”.

11.3 Indique de forma general los detalles obtenidos de los pescadores u otros con conocimiento local. Si es posible, entregue un resumen del efecto de que ciertas condiciones climáticas tienen sobre los naufragios y las obstrucciones.

11.4 Explique por qué un barrido de cable en particular no fue hecho.

12. Señales Luminosas y Boyas

12.1 Describa cómo se determinó la posición de las señales luminosas. Si se ha establecido una nueva señal luminosa ésta debe ser descrita en su totalidad usando el formato de Lista de Faros, y debe establecerse el método de determinar su posición. (Los detalles de las observaciones de la posición deben aparecer en la Data Geodésica)

12.2 Cuando sea posible, se debe informar a la Autoridad responsable sobre el establecimiento de una nueva señal.

12.3 Describa cómo se fijó la posición de cada boya durante el flujo y reflujo e indique su posición media final.

12.4 Indique la opinión del hidrógrafo en cuanto a la precisión de las observaciones al determinar los sectores de luz y la posición de las boyas de navegación. Informe sobre la validez de la característica de la luz mostrada en las cartas publicadas que cubren el área de estudio (Art 0309).

13. Línea de Costa, Topografía, Distancias Medidas, Objetos y Marcas notables.

13.1 Indique si la línea de costa se determinó en el levantamiento y mediante qué método, o si se aceptó un :

a. Delineado proveniente de fotografías aéreas, proporcione detalles.
b. Mapas existentes, proporcione detalles.

13.2 Indique cómo se obtuvieron las alturas. Comente los cambios significativos, tal como la erosión de la costa o la aparición de sedimentos suaves importantes.

13.3 Comente cualquier construcción hecha por el hombre como las marinas o malecones (que deben ser incluidos en las correcciones a las Direcciones de Navegación).

13.4 Comente cualquier distancia medida o marca indicando las líneas de seguridad, líneas de rumbo o derrotas recomendadas, encontradas en la carta pero que están en desuso. Incluya detalles completos para corregir los derroteros, en el Anexo M.

13.5 Resalte aquellos objetos considerados visibles y los objetos que aparecen en la carta como visibles pero que no merecen destacarse. Incluya estos para corregir los derroteros en el Anexo M.

13.6 Donde se use un delineado proveniente de fotos aéreas, describa la forma en que la data se revisó en el campo y destaque las discrepancias mayores que encuentre. Comente la utilidad general del delineado..

14. Derroteros y Nomenclatura

14.1 Comente las correcciones que no son necesarias, o que están en el Anexo N. Destaque cualquier imprecisión mayor en los derroteros. Resalte las fotografías tomadas y la precisión de aquellas publicadas actualmente en los Derroteros.. Indique si los nombres en las cartas han cambiado o no, si es posible, dé los detalles respectivos. Cuando un grupo de correcciones abarca dos o más estudios, o un estudio entregado en dos o más partes con reportes por separado, se debe incluir una referencia indicando donde se puede encontrar la Corrección al Derrotero.

14.2 Resalte los nuevos nombres propuestos.

14.3 De una lista de libros, folletos, guías, obtenidas durante el curso del estudio y anexe copias al Informe del Levantamiento.

15. Estaciones de Radio Estaciones.

15.1 Indique de forma general la precisión de la data contenida en la publicación que describe las Radio Estaciones correspondiente al lugar del levantamiento y a los puertos visitados.

16. Observaciones Adicionales

16.1 Describa las técnicas de observación y las opiniones de la consistencia de las observaciones utilizadas para cada uno de los siguientes:

a. Fuentes de Agua Dulce
b. Escarceos choque de corrientes de mareas, remolinos;
c. Cualquier observación científica especial observada (ej. Variación magnética).

17. Misceláneos

17.1 Comente cualquier otra faceta de ejecución y los resultados del estudio que puedan ser de valor para la Oficina Hidrográfica o del interés histórico cuando se revise en los años futuros.

[Firma]

CONTENIDO

PARTE 2 - TECNICA

A Documentos Anexos

B Sistema Digital de Levantamiento Digital

C Datos Geodésicos

D Calibraciones de las ayudas a la navegación y sus validaciones

E Velocidad del Sonido y Observaciones de calibración con Barra

F Nivelación y observaciones de Marea

G Precisión de los Sondeos

H Comparación con la Carta Publicada

I Naufragios y Obstrucciones

J Observaciones de las Corrientes de Marea

K Sectores de Señales luminosas y Boyas

L Texturas del Fondo Marino, Naturaleza del fondo y Muestras de Fondo recolectadas

M Rasgos Topográficos, Objetos y Marcas Notables

N Correcciones a los Derroteros y Nomenclatura

O Vistas

P Lista de Correcciones de Señales luminosas

Q Correcciones de las Señales de Radio

R Observaciones Auxiliares/Misceláneas

S Reportes de Peligros y Notas Hidrográficas

T Personal

U Diario de Eventos Notables

V Resumen de las Actividades del Levantamiento

Anexos adicionales, ej. Copias de comunicación con la Oficina Hidrográfica, pueden ser incluidas según sea necesario.

ANEXO A
[Reporte de Referencia de Estudio)]
[Fecha]

Documentos Anexos

A.1 Lista de todos los documentos y registros que acompañan el Reporte de Estudio. Por ejemplo:

a. Hoja batimétrica;
b. Rastro de la textura del fondo marino;
c. Trazado del trazo de sondeo
d. Trazado del trayecto del ecosonda;
e. Trazado de veriles o isóbatas
f. Trazo(s) misceláneos – correcciones de marea, Señalización Flotante para Navegación, Nombres, etc.
g. Registros/Fichas de Naufragios
h. Cintas de Datos de Prueba SV
i. Registro de todos los datos Digitales

Etc.

A.2 Indique la precisión y nitidez de los trazados si es necesario. Si se ha empleado mucha gente en un trazado en particular se debe describir la división de labores.

ANEXO B
[Reporte de Referencia de Estudio]
[Fecha]

Sistema Digital de Levantamiento

B.1 Incluya una breve descripción de:
a. Sistema hardware
b. Número de la versión del software
c. Funciones principales del software
d. Aplicaciones de software
e. Cualquier dificultad mayor encontrada.

B.2 Incluya:

a. Diario de todos los defectos que tienen un impacto importante en la conducción del levantamiento;
b. Detalles de las variables y parámetros usados durante el registro y el proceso.
c. Un diagrama ilustrando los retrasos.

B.3 Se debe mencionar el número total de archivos de DATA creados.. Si no se reporta un archivo, ej. Porque se dañó, se debe dar una explicación breve.

B.4 Procesamiento (Trazado)

a. Informar si el recálculo de la posición fue efectuado o no. Si fue efectuado proporcionar los detalles de lo hecho.
b. Detalles de cualquier edición del trazado – excepto de aquellas que fueron eliminadas por tener una posición falsa.

B.5 Procesamiento (Profundidad)

Detalles de los parámetros de proceso usados durante el levantamiento. Las variaciones de los métodos estándar y los procedimientos del sistema de procesamiento en uso deben ser explicados.

B.6 Detalles de cualquier modelo digital de elevación del terreno producidos:

a. Nombre
b. Origen
c. Acimut
d. Altura y Ancho
e. Ancho de banda y número de bandas
f. Tamaño del carácter utilizado
g. Confirmación de que “sólo los sondeos seleccionados” han sido utilizados
h. Detalles de cualquier polígono utilizado para delinear la hoja batimétrica.

B.7 Grilla

a. Nombre
b. Origen
c. Altura y Ancho
d. Número de cuadros, tamaño del cuadro y distancia de búsqueda.

B.8 Si se adoptó cualquier variación del procedimiento estándar se deben describir en detalle. En particular, lo siguiente debe ser notado:

a. El ajuste manual de cualquier profundidad seleccionada. Cualquier reselección manual de los sondeos seleccionados por el proceso de sondeo automático.

b. La adición de cualquier profundidad a la hoja batimétrica que no esté incluida en el registro digital. Una lista de todas las profundidades individuales o de las coordenadas de los límites de bloque de la data manual deben ser dados.

c. La eliminación del modelo digital de cualquier profundidad valida..

B.9 Impresiones de la Configuraciones de Trabajo utilizadas durante el levantamiento.

ANEXO C
[Reporte de Referencia de Estudio]
[Fecha]

Datos Geodésicos

Sección 1 – Descripción de las Observaciones

C.1.1 Esta debe ser una descripción detallada de los métodos e instrumentos usados para ejecutar el control. El tipo de equipo y el modo en que fue usado debe ser descrito cuidadosamente. El nombre y las versiones de cualquier programa de computación usado para la reducción de las observaciones, o cualquier tipo de proceso o transformación debe ser detallada. Junto con las acotaciones de la precisión lograda se debe incluir todas las dificultades encontradas y el cómo fueron superadas..

Sección 2 – Datum Horizontal, Esferoide, Proyección y Detalles de la Grilla; Lista de Coordenadas

C.2.1 El datum horizontal, los detalles de la grilla y de proyección normalmente debieron ser fijados en el apéndice geodésico para la especificación del estudio. Estos deben repetirse al principio de esta sección, ejemplo:

> "Todo el control está referido al Datum del Sistema Geodésico Mundial de 1984, al Esferoide del Sistema Geodésico Mundial; las coordenadas de las grillas están dadas en términos de la Proyección Inversa de Mercator en la Grilla de la Zona UTM 21 Sur (meridiano Central 057º O)".

O

> "Todo el control está referido al Datum ETRS89, al Esferoide GRS80; las coordenadas de la grilla están dadas en términos de la Proyección Transversa de Mercator , en la Grilla de la Zona UTM 31 Norte (meridiano central 003ºE)".

A manera de excepción, donde no se haya establecido el datum horizontal apropiado, los detalles requeridos se deben mencionar totalmente.

C.2.2 Las estaciones se deben listar, de forma tabular como un anexo al Reporte del estudio, ver ejemplo al final de este Anexo. Para cada estación, la información requerida es:

a. Carta de referencia.

b. Nombre completo.

c. Nombre de campo y/o código del sitio GPS.

d. Orígenes para las estaciones antiguas. Errores estimados para las estaciones nuevas o re ocupadas. Si los orígenes para la posición horizontal y la altura son diferentes, ambas deben ser mencionadas.

e. Coordenadas Geográficas. Las coordenadas no deben ser mencionadas a una precisión mayor que la justificada por el error estimado. Las coordenadas aceptadas de otras fuentes deben estar en negritas y subrayadas.

f. Coordenadas de Grilla. Las coordenadas no deben ser mencionadas a una precisión mayor que la justificada por el error estimado. Las coordenadas aceptadas de otras fuentes deben estar en negritas y subrayadas.

g. Altura esferoidal en metros.

h. Altura Ortométrica en metros.

C.2.3 Las estaciones determinadas independientemente de la red de control principal deben ser distinguidos claramente, y su fuente establecida. Deben ser listados por separado en una tabla, un formato sugerido está en el Anexo A de esta sección.

C.2.4 Cualquier altura observada debe ser tabulada claramente y su fuente establecida. El datum vertical usado debe ser establecido junto con los detalles del método utilizado, si las alturas son ortométricas o esferoidales y la separación del geoide/esferoide usado, junto con su fuente.

Sección 3 – Descripción de Estaciones

C.3.1 Liste cualquier estación geodésica conocida que ya no exista y explique por qué.

C.3.2 Las descripciones de las estaciones deben ser actualizadas para todas las estaciones recuperables; las correcciones que se consideren necesarias a las descripciones de las estaciones previamente establecidas también deben ser actualizadas. Si una estación establecida previamente no puede ser recuperada, debe ser indicado dando las razones del problema. Las descripciones de la marca misma de la estación, su inmediata localidad y el área general deben ser descritas lo más detallada y profundamente posible, para permitir que la estación sea identificada en la fotografía aérea y también recuperada en el terreno.

C.3.3 Las fotografías aéreas de la localidad general, en las que las estaciones han sido revisadas a profundidad, deben ser entregadas donde sea posible. Fotografías del terreno, o preferiblemente aéreas a bajo vuelo, deben ser usadas también para ilustrar las estaciones mismas.

C.3.4 Los puntos de control pre-establecidos para la fotografía aérea deben ser fotografiados en intervalos de altitud de 1000 a 4000 pies. Deben ser logrados con cámaras de levantamientos aéreos o con cámaras manuales. Se deben hacer dos tomas de cada altitud de posiciones distintas tan cerca al vertical como sea posible. Al menos un par de fotografías debe incluir la línea de costa, si es posible. Todas las fotografías deben ser incluidas en el reporte de reconocimiento Fotográfico. Las impresiones hechas del control fotográfico deben ser enmarcadas en su totalidad si es posible.

C.3.5 Todos los diagramas y fotografías deben ser en blanco y negro, y deben ser tomadas o seleccionadas con la finalidad que sean legibles. Las vistas se deben anotar con: el número de especificación del levantamiento, nombre de la estación y la carta, fecha y referencia al reporte de estudio. Si se usan etiquetas, se recomienda que se peguen en el reverso.

Sección 4 – Resumen de las Recomendaciones

C.4.1 Las siguientes sub secciones deben ser completadas cuando sea posible.

a. <u>Ángulos – E</u>sta sección debe contener un grupo de formas de observación, una (o más) para cada estación ocupada. Todos los ángulos horizontales observados deben ser registrados, incluyendo cualquiera que no se haya usado en el campo de ajuste, para permitir luego, ajuates más rigurosos de la oficina hidrográfica. Se debe

establecer una estimación del error en cada lectura final reducida del retículo del círculo. Las correcciones para t-T debe ser mostrada para cada visualización, incluyendo el del Objeto de referencia. Los ángulos verticales deben ser mostrados separadamente.

b. Distancias – esta sección debe contener detalles completos de la medición de cada línea. Todas las distancias observadas deben ser registradas, incluyendo cualquiera que no se haya usado en el ajuste de campo para permitir luego ajuates más rigurosos de la oficina hidrográfica. En todos los casos, la derivación de la distancia de grilla final reducida de las lecturas de datos crudos debe ser clara y sin ambigüedades. Se debe tener cuidado de que los factores de escala sean aplicados de la forma correcta. Un estimado del error en el resultado debe ser incluido. Detalles completos de los métodos usados, y las correcciones aplicadas, deben ser dados en el caso de distancias medidas por otros medios. Los detalles de los programas de computación utilizados para reducir las observaciones a la grilla debe ser incluida, junto con las copias de cualquier impresión.

c. GPS Geodésico Esta sección debe contener al menos los siguientes datos:

(1) Lista de las líneas de base observadas incluyendo: fecha y día juliano, letra o código de la sesión. Estaciones Observadas.

(2) Lista de las alturas de antena para cada observación (especificando si es una inclinación, vertical o altura desplazada).

(3) Impresiones de TODOS los archivos GPS de post proceso y los archivos de los ajustes de red. Una copia de respaldo de toda la data debe ser guardado a bordo hasta que el levantamiento haya sido evaluado por completo por la Oficina Hidrográfica.

(4) Disco que contiene los datos crudos de la observación.

(5) Disco que contiene los archivos de GPS post procesados y los archivos de ajuste de red. Una copia de respaldo debe ser guardado a bordo hasta que el levantamiento haya sido evaluado por completo por la Oficina Hidrográfica.

Sección 5 – Descripción del Ajuste

C.5.1 Se requiere una descripción total de los métodos usados para el ajuste del control y su formato variará dependiendo de los requerimientos nacionales.

C.5.2 Para los esquemas GPS geodésicos, sólo un punto conocido necesita ser fijado en el proceso de ajuste. Donde otros puntos sean conocidos, una comparación debe hacerse entre las coordenadas calculadas como resultado del ajuste y las coordenadas originales conocidas.

Sección 6 – Transformación de Coordenadas

C.6.1 Proporcione los detalles completos de cualquier transformación de las coordenadas que fueron determinadas. Estos deben incluir los parámetros de transformación actuales usados y el programa computacional con el que se realizaron los cálculos.

Sección 7 – Correspondencia con otras Autoridades de Estudio

C.7.1 En el Informe del levantamiento se debe incluir copia de toda la correspondencia con las autoridades de estudio locales relacionadas con el control geodésico.

Diagrama de control

1. Manualmente ha de producirse un diagrama de control cuando el programa utilizado para ajustar la red no tenga la facultad de producir un diagrama de la red. El Diagrama de Control debe ser emitido en papel de buena calidad y limitado al Reporte de estudio. El tamaño del diagrama debe ser lo suficientemente grande como para permitir que todas las observaciones sean distinguidas fácilmente con los nombres de la estación mostrados claramente. Su tamaño doblado no debe exceder una hoja A4;las áreas de defensa y control deben ser mostradas como incisos a mayor escala, o separadamente, para ayudar a la claridad. Una escala y grilla deben ser incluidas. Se recomienda que las estaciones aceptadas de trabajos anteriores sean mostradas en rojo, y todas las demás en negro.

2. Los tipos de observaciones deben ser distinguibles claramente. Por ejemplo, los ángulos observados pueden ser indicados por arcos pequeños que se unan a los lados definidos, las distancias observadas pueden ser indicadas por doble líneas; los vectores GPS pueden ser indicados con líneas rojas.

LISTA DE COORDENADAS Y ALTURAS

SITIO (Carta/nombre) (Completo/Nombre de campo) [Código GPS]	Fuente para estaciones antiguas. Error estimado para estaciones nuevas o reocupadas	Datum WGS 84, Zona de grilla UTM 21 Sur, Meridiano central 57º Oeste					
		Latitud (Sur)	Longitud (Este)	Este (metros Este)	Norte (N metros)	Altura Esferoidal (metros)	Altura Ortométrica (metros)
(A) Monte Round [ROUND] [2502]	Fl 360 E FL/5-P22	51º 36’ 08”.6352	57º 58’ 54”.0517	432012.40	4282726.15	168.80	155.48
(B) Monte Brisbane [BRISBANE] [2501]	Fl 360 E FL/1-P26	51º 29’ 22”.000	57º 55’ 58”.372	435231.84	4295332.16	187.50	173.88
(C) Puerto Long [LONG] [2503]	< ± 0.1 (1σ) metro	51º 33’ 24”.124	58º 25’ 34”.678	425025.37	4299045.83	22.45	20.43
(D) Punto Icy [ICY] [2504]	< ± 0.1 (1σ) metro	51º 36’ 36.016	58º 57’ 54”.879	425609.24	4300005.67	38.91	18.22

ANEXO D
[Reporte de Referencia de Estudio]
[Fecha]

Calibraciones de las ayudas a la navegación y sus validaciones

D.1 Indique los tipos de ayudas a la navegación, frecuencias y modos de operación.

D.2 Si se usa un GPS diferencial, indique qué estación de referencia fue usada y proporcione los detalles.

D.3 Describa la calibración y los métodos de validación usados.

D.4 Enliste todos los resultados de las calibraciones/validación de las ayudas a la navegación incluyendo salidas impresas de computadoras si están disponibles; antes, durante y después del levantamiento.

D.5 Donde se utilice una ayuda a la navegación precisa como el Trisponder para validar una ayuda a la navegación DGPS, se debe incluir los detalles completos de la calibración de la ayuda a la navegación de referencia así como los detalles de validación. Donde se use una ayuda a la navegación secundaria DGPS para validar una ayuda a la navegación DGPS primaria debe hacerse independientemente al sistema como sea posibledebe ser tan independiente del sistema como sea posible. El método recomendado es el uso de GPS cinemáticos de tiempo real o de post procesos para las validaciones de los navaids DGPS.

D.6 Cuando se use un registro de data y un sistema de procesamiento, una impresión mostrando ayuda a la navegación y el sistema de configuración debe ser incluido como un apéndice. Cuando haya cambios a esto, deben ser grabados y el nuevo punto obtenido debe ser para propósitos de registros. Donde sea apropiado un resumen estadístico derivado de los términos de línea obtenido de las estadísticas de las ayudas a la navegación debe ser incluido.

ANEXO E
[Reporte de Referencia de Estudio]
[Fecha]

Velocidad del Sonido y Observaciones de Calibración con Barra

E.1 Enliste las fechas y los resultados obtenidos para cada observación.

E.2 Cuando se haya calculado las velocidades promedio de sonido de las observaciones batitermográficas expandibles (XBT), los números consecutivas de las observaciones XBT y los valores de salinidad asumidos usados deben ser incluidos.

E.3 Registro del muestreo del sensor CTDV.

E.4 Registro de las Observaciones de las estaciones Oceanográficas.

E.5 Registro de las Observaciones de sensor de Velocidad del Sonido.

(Nota: Una copia de los formularios apropiados debe también acompañar a las cintas magnéticas las cuales deben reenviarse a la Oficina hidrográfica.con el Informe del levantamiento).

ANEXO F
[Reporte de Referencia de Estudio]
[Fecha]

Nivelación y observaciones de Marea

F.1 Informe los resultados de nivelación en forma de diagrama, e indique claramente el valor del datum de Sondeo establecido.

F.2 Incluya el registro de las Observaciones de Marea y el registro de la Transferencia del Datum de Sondeo – donde sea necesario.

F.3 Registro de la verificación diaria del mareógrafo.

F.4 Resultados de 25 horas de comparación entre la regla de mareas y el mareógrafo.

F.5 Cuando se utilice el mareógrafo de profundidad costa afuera, debe ser calibrado de acuerdo a las normas nacionales. Para el Reporte del Levantamiento es suficiente con entregar un resumen de las observaciones en el siguiente formato.

Lugar del Mareógrafo	Posición	Período de registro	Fecha de entraga	Figura de reducción

ANEXO G
[Reporte de Referencia de Estudio]
[Fecha]

Precisión de los Sondeos

G.1 Indique la variación de la profundidad en el área de estudio indicando el error estándar aceptable.

G.2 Enliste las técnicas adoptadas y la evaluación de los errores estándar logrados bajo cada uno de los títulos de la siguiente tabla.

G.3 fije, como en la tabla siguiente, una lista de evaluaciones de error estándar para cada uno de los criterios evaluados en las profundidades máximas y mínimas encontradas y en cualquier profundidad intermedia donde la evaluación del error cambie marcadamente. Debe darse una explicación breve a la evaluación de cada error estándar.

Fuente	En la profundidad máxima	En la profundidad intermedia	En la profundidad menor
Eco-sondas TX con ajuste de marca			
Variación del ajuste de marca			
Medida SV			
Variación espacial en SV			
Variación temporal en SV			
Applicación de la SV medida			
Precisión instrumental			
Resolución del Trazado			
Balanceo			
Fijación y Asentamiento			
Rolido, Cabeceo e inclinació del lecho marino			
Medida de marea			
Correcciones de marea			
Applicación de la Reducciones de			
Lectura del Trazo			
Error combinado = $\sqrt{\sum(x)^2}$			
Requerimiento = $\sqrt{\pm(0.5)^2 \pm (0.009d)^2}$			
Dato Meteorológicos estándar (Yes/No)			

ANEXO H
(Reporte de Referencia de Estudio)
(Fecha)

Comparación con la Carta Publicada

H.1 Destaque los cambios de profundidad que pueden garantizar la promulgación de los Avisos a los navegantes. Por ejemplo:

a. En profundidades de 0 a 10 m	Liste las profundidades que sean 0.5 m menor que aquellas indicadas en la carta.
b. En profundidades de 10 a 31 m	Liste las profundidades que sean 1m menor que aquellas indicadas en la carta.
c. En profundidades de 31 a 200 m	Liste las profundidades que sean un 5% menor que aquellas indicadas en la carta
d. En profundidades de 200 a 800 m	Liste las profundidades que sean un 10% menor que aquellas indicadas en la carta.

H.2 En áreas de alto riesgo donde las naves operan regularmente con el mínimo permitido bajo la quilla, cualquier profundidad baja o crítica debe ser listada. Los ejemplos de esas áreas de riesgo son: El Dover Strait TSS; Las Rutas de Mar profundo del sur del Mar Norte; dentro y adyacentes a los canales principales en áreas de puerto y sus aproximaciones.

H.3 En las siguientes áreas, no se necesita más de una descripción general de los cambios. Sin embargo, las profundidades de control deben ser identificadas claramente.

a. Áreas de lecho inestable, donde el movimiento importante de los rasgos ha ocurrido;
b. Áreas complejas, como los lechos rocosos.
c. Áreas donde las nuevas profundidades estudiadas son más bajas que las que están en las cartas sobre una parte importante del área de estudio (incluso si las diferencias caen dentro del criterio en punto H.1).

H.4 Es importante dar una firme recomendación sobre la acción de cartografiado a ser tomada para los peligros en la carta que no han sido encontrados durante el levantamiento. Un peligro no será retirado de la carta a menos que la recomendación esté basada en un examen completo.

H.5 Se debe indicar los datums de referencia horizontal de las posiciones estudiadas y los rasgos en la carta. Idealmente esto debe corresponder a los datums del estudio y de la carta, respectivamente.

H.6 Cualquier vista 3D creada usando los sistemas de procesamiento de datos debe ser incluida en este anexo. Se recomienda que cada vista se imprima en un papel A3 doblado para que quepa en el Informe del Levantamiento con un título que muestre:

a. El título de la hoja batimétrica respectiva
b. Escalas horizontales y verticales
c. Acimut y altitud de vista

ANEXO I
(Reporte de Referencia de Estudio)
(Fecha)

Naufragios y Obstrucciones

I.1 Enliste todos los naufragios localizados y examinados bajo dos títulos separados:

a. "Naufragios Conocidos"(por nombre, donde sea apropiado y posición)
b. "Naufragios Nuevos" (por posición) y referencia de cruce a la data de naufragios entregada

I.2 Comente sobre todos los naufragios enlistados en las especificaciones del levantamiento que no fueron localizados durante el estudio, y ofrezca opiniones de por qué no fueron encontrados.

I.3 Los naufragios en las cartas, las obstrucciones u otros elementos peligrosos, que no hayan sido localizados y examinados durante un estudio deben ser rechazados si es posible. Son imposibles de ser retirados de la carta sin una explicación fundada del Hidrógrafo diciendo que esto se justifica.

I.4 Cualquiera sea el resultado de la investigación, bien sea un estudio grande o un examen individual, el hidrógrafo debe reportar los hallazgos en su totalidad, de una manera apropiada, y con material de apoyo si es necesario, junto con una recomendación positiva para la acción de cartografiado futura.

I.5 Para cualquier naufragio "no estudiado en totalidad", se necesita un reporte breve del trabajo adicional requerido, ej. "debe ser barrido con cable".

I.6 Mencione todas las obstrucciones del lecho marino (incluyendo los manantiales) localizados, así como aquellos que no fueron encontrados (y por qué).

I.7 Mencione todas las señales de peligro utilizadas por los pescadores estableciendo si han sido buscadas y encontradas y si hay una correlación con otras características. Cualquier información obtenida en confidencia debe ser identificada.

ANEXO J
(Reporte de Referencia de Estudio)
(Fecha)

Observaciones de las Corrientes de Marea

J.1 incluya el Registro de las observaciones de las Corrientes de Marea.

ANEXO K
(Reporte de Referencia de Estudio)
(Fecha)

Sectores de Señales Luminosas y Boyas

K.1 Detalle cómo los sectores de las señales luminosas fueron observados, y enliste los sectores aceptados al final. Revise esto con el anexo P (Corrección a la Lista de Luz).

K.2 Proporcione una lista de todos los nombres y números de las boyas, (donde sea apropiado), características y posición (medias del flujo y de reflujo).

ANEXO L
(Reporte de Referencia de Estudio)
(Fecha)

Texturas del Fondo Marino, Naturaleza del Fondo y Muestras de Fondo Recolectadas

L.1 De una descripción general de la naturaleza y textura del fondo marino, destaque cualquier rasgo especial encontrado y diga la extensión y la dirección de cualquier área de dunas de arena.

L.2 Mencione la posición, altura, extensión y evaluación de cualquier contacto con una dimensión superior a 1 m.

L.3 Proporcione un Registro de Muestras de Fondo Marino y de sus testigos.

ANEXO M
(Reporte de Referencia de Estudio)
(Fecha)

Rasgos Topográficos, Objetos y Marcas Notables

M.1 Enliste todos los rasgos topográficos en la carta actual o mencione en el derrotero como visible o prominente por nombre, posición, y párrafo relevante en el derrotero con el comentario de si es visible o prominente.

M.2 Proporcione una lista de rasgos separada considerada visible o prominente pero no presentes en la carta como tal.

M.3 Las listas deben incluir fotografías y no estar confinadas a los rasgos, o estar visibles del área de estudio pero debe incluir rasgos cercanos que hayan sido evaluados cuando se pasa de ida o regreso al puerto de carga.

M.4 Proporcione detalles completos de las distancias medidas bien sea encontradas, o en las cartas pero que están fuera de uso.

M.5 Proporcione detalles completos de todas las marcas usadas para indicar líneas de seguridad, líneas de enfilación y trazos recomendados bien sea encontrados, o en la carta pero que están fuera de uso.

ANEXO N
(Reporte de Referencia de Estudio)
(Fecha)

Correcciones a los Derroteros y Nomenclatura

N.1 Durante el curso de cualquier levantamiento, los derroteros relevantes deben ser examinados cuidadosamente y deben formularse las correcciones apropiadas. Las notas de estas correcciones deben ser guardadas durante el levantamiento, ya que se necesitan, y el texto revisado debe ser compilado inmediatamente después de completar el trabajo de campo, cuando cada punto importante esté fresco en la memoria. No es posible escribir derroteros aisladamente del estudio de la hoja batimétrica.

N.2 El anexo debe indicar claramente que párrafos del derrotero han sido verificados.

N.3 Los derroteros son escritos por el hidrógrafo como información complementaria a la hoja batimétrica, pero deben aplicarse, si es posible, a la carta existente publicada también. Se debe tener presente que los editores del derrotero normalmente no ven la hoja batimétrica y usarán la carta publicada cuando van a examinar el texto propuesto por el hidrógrafo. En consecuencia, los objetos de referencia deben, cuando sea posible, ser comunes para la carta y para la hoja batimétrica.

N.4 Como regla general, las Direcciones de Navegación que se aplican al levantamiento serán cubiertas por unas pocas páginas en el libro publicado, pero se debe tener cuidado para revisar la información general en el volumen apropiado así como el de cualquier apéndice que sea relevante al área a ser estudiada o a las localidades cercanas.

N.5 En cada caso, la posición de la corrección debe ser identificada claramente. Cuando se escriben grandes correcciones, se recomienda que estas deben ser compiladas en forma del libro que está siendo corregido. El hidrógrafo debe estar siempre preparado para ser más extenso en su texto de lo que se espera necesario para el libro publicado. El editor podrá tomar la impresión total del área y podrá condensar las correcciones propuestas con más autoridad. Es particularmente importante que si cualquier detalle se va a borrar de una sección escrita, una fundada explicación debe ser provista, incluido el antecedente de respaldo.. Al omitir un punto se deja al editor dudando acerca de si esa omisión es deliberada o una exageración.

N.6 Cuando sea posible, cualquier estructura mencionada específicamente en los derroteros debe ser ilustrada por fotografías a color, y las vistas generales (fotografía a color o manuscritos) deben ser proporcionadas cuando sean útiles. Estas son valiosas específicamente en las aproximaciones a los puertos, y a lo largo de las enfilaciones recomendadas.

N.7 En particular los siguientes rasgos deben ser descritos o notificados:

Acantilados	Se debe reportar, cuando su color sea significativamente distinto a su entorno y vaya a ser usado por los navegantes
Algas	Las áreas de algas, su existencia y extensión de su efecto deben ser descritas en su totalidad
Anclajes	Si son extensos o complicados, deben ser incluidos en el trazado acompañando la hoja batimétrica
Areas de Peligro	Si son extensas o complicadas, deben ser incluidas en un trazo acompañando la hoja batimétrica.
Atracaderos	Deben ser descritos en su totalidad

Barra de río	Si la barra es susceptible al cambio, el hecho debe ser mencionado
Cloacas	Deben ser descritos en su totalidad.
Duques de Alba	Deben ser descritos en su totalidad
Distancias Medidas	Deben ser descritos en su totalidad
Emisarios	Deben ser descritos en su totalidad,
Enfilación	Deben ser descritos en su totalidad, mencionando (si hay tránsito) la marca posterior primero y luego la marca de enfrente.
Esclusas	Deben ser descritos en su totalidad. La profundidad máxima sobre el umbral debe ser reportada.
Espigones	Deben ser descritos en su totalidad
Ferris	Deben ser descritos en su totalidad
Gradas	Deben ser descritos en su totalidad.
Rompientes	Comente si este rasgo es peligroso o no
Instalaciones Costa Afuera	Deben ser descritos en su totalidad
Instalaciones de Puerto	Deben ser descritos en su totalidad. Para evitar descripciones largas innecesarias de los puertos grandes será suficiente si son obtenidas copias o folletos del puerto y de las regulaciones y enviadas con las Correcciones al derrotero.
Líneas de Seguridad	Deben ser descritos en su totalidad, mencionando (si hay tránsito) la marca posterior primero y luego la marca de enfrente.
Líneas de techo	Cuando pasan por un canal navegable, el permiso seguro sobre los MHWS (o MHHW) debe ser reportado con los nombres de la autoridad responsable y su oficial de contacto. Algunas líneas de techo son visibles al radar y muchas aparecen como un contacto en el ángulo fijo. Cuando sea este el caso, el efecto debe describirse.
Manantiales de Agua Fresca	Deben ser descritos en su totalidad
Malecones	Deben ser descritos en su totalidad
Muelles	Deben ser descritos en su totalidad.
Ondulación Arenosa	Límites, orientación, distancia entre crestas, y la altura máxima de la base a la cresta debe darse
Pozos	Deben ser descritos en su totalidad.
Puentes	Deben ser descritos en su totalidad. Cuando un puente se mueva para permitir el paso de embarcaciones se debe notificar el ancho del canal.
Puentes Flotantes	Deben ser descritos en su totalidad
Rastro recomendado	Deben ser descritos en su totalidad, mencionando (si hay tránsito) la marca posterior primero y luego la marca de enfrente.

Remolinos	Comente si estos rasgos son peligrosos o no
Rompe Olas	Detalles de las áreas de los rompe olas y las costas inhóspitas deben ser dados
Sectores de Luz	Si los sectores son diferentes de los que aparecen en las carta, se deben dar los detalles.
Surgidero	Comente si este rasgo es peligroso o no
Vaciaderos	Deben ser descritos en su totalidad.

N.8 Proporcione las recomendaciones del hidrógrafo para el Práctico del área del levantamiento (si es apropiado).

N.9 Todos los nombres cartografiados deben ser revisados. Si se encuentra un nombre distinto al de la carta en uso local se debe informar de ello a la autoridad correspondiente indicando la fuente. Enliste separadamente cualquier nombre nuevo propuesto, con la explicación que respalda las razones de la necesidad de cambio de nombre de la característica (excepto en las áreas inexploradas cuando esto sea evidente) y la selección de los nombres propuestos.

N.10 Cualquier carta obtenida debe ser enviada con el Reporte de Estudio e identificado en este anexo.

ANEXO O
(Reporte de Referencia de Estudio)
(Fecha)

Vistas

O.1 Existe la necesidad constante de fotografías para ilustrar los derroteros. En general las fotografías mayores a 10 años no son confiables, por lo que cada oportunidad debe aprovecharse para fotografiar otra vez las vistas, y dar nuevas vistas.

O.2 El compilador de una carta y el editor del derrotero pueden ser ayudadas mayormente si pueden visualizar el área con la que están trabajando. Una de las mejores formas de dar esta alimentación visual es con el uso de vistas fotográficas. Las fotografías de buena calidad de color, particularmente de los oblicuos aéreos, es preferida.

O.3 El hidrógrafo debe seguir procedimientos para ilustrar el Informe del levantamiento y las Correcciones al derrotero hasta donde sea posible. Aunque pocas fotos sea publicadas al final, todas van a ser revisadas por la Oficina Hidrográfica y van a permitir que aquellos que están procesando el estudio vean el área, en parte, como el navegante la ve.

ANEXO P
(Reporte de Referencia de Estudio)
(Fecha)

Lista de Correcciones de Señales Luminosas

P.1 Enliste todas las discrepancias relevantes encontradas entre el detalle mostrado en la Lista de Señales Luminosas y las cartas publicadas y aquellas observadas.

ANEXO Q
(Reporte de Referencia de Estudio)
(Fecha)

Correcciones de las Señales de Radio

Q.1 Enliste las correcciones para la apropiada lista de Señales de radio que cubre el área de estudio y los puertos visitados. Describa los detalles de los servicios de tráfico de naves, sistemas de reporte de barcos, transmisiones de información de seguridad marina, servicios radio pilotos, operaciones de puerto, radio ayudas a la navegación, faros de radio y radar, servicios de radio estación costera y procedimientos de búsqueda y rescate.

ANEXO R
(Reporte de Referencia de Estudio)
(Fecha)

Observaciones Auxiliares/Misceláneas

R.1 Provea detalles en el formato requerido por las especificaciones del levantamiento o si no se menciona en su contenido, elabore un formato tan claro y conciso como sea posible , preferiblemente tabular. Incluya en este anexo; las correcciones al delineado Fotográfico Aéreo, los vertederos y las Áreas de dragado, los Manantiales de Agua Dulce y los detalles de cualquier Observación Oceánica o Geofísica tomada.

ANEXO S
(Reporte de Referencia de Estudio)
(Fecha)

Reportes de Peligros y Notas Hidrográficas

S.1 Describa todos reportes firmados, enviados por fax o por e-mail y refiérase a los formularios H102 y H102A entregadas en relación al área estudiada.

ANEXO T
(Reporte de Referencia de Estudio)
(Fecha)

Personal

T.1 Proporcione una lista de nómina, con las fechas relevantes, de todos los involucrados en el levantamiento.

ANEXO U
(Reporte de Referencia de Estudio)
Fecha)

Diario de Eventos Notables

U.1 Enliste todos los eventos importantes (con sus fechas) que han influido en la ejecución del levantamiento. Estos pueden incluir:

a. Establecimiento del control
b. Calibraciones de las ayudas a la navegación utilizados en el levantamiento;
c. Inicio del trabajo de campo;
d. Llamadas a puerto y periodos de salidas
e. Entrenamiento Marino, ejercicios Navales y otras actividades militares;
f. Daños graves (de la nave o del equipo)
g. Conclusión del trabajo de campo
h. Calibraciones de las ayudas a la navegación después del levantamiento.

ANEXO V
(Reporte de Referencia de Estudio)
(Fecha)

Resumen de la Actividades de Estudio

V.1 Siempre es útil proporcionar una tabla dando el resumen de los días perdidos que cubren el período del levantamiento (entre las fechas reportadas en la portada del Informe del Levantamiento). “La improductividad es calculada en días derivados de los períodos de horas agregados. Los días de puerto deben ser introducidos en la columna que representa la actividad primaria para cada día. La suma de las columnas individuales debe ser igual al total mostrado en la primera columna. Los títulos de las columnas son como sigue:

TOTAL	**MAR**				**Puerto**		
Días Calendario	Levanta -miento	Días Perdidos			Mantenimiento y Reparación de Emergencia	Partida	Visitas Incluyendo paradas logísticas
		Clima, Improductividad del equipo o el barco	Recorrido	Actividades Militares			

_____