Esteban Rodriguez

NORMAS PARA LEVANTAMIENTOS HIDROGRAFICOS Y CRITERIOS DE CLASIFICACION PARA SONDAJES EN AGUAS PROFUNDAS

Traducción PARCIAL de la Publicación Especial N°44 - 2da Edición 1982 de la Organización Hidrográfica Internacional

Tomo I - Normas O.H.I. para Levantamientos Hidrográficos

Introducción

En la redacción de las normas para el Tomo I, los levantamientos hidrográficos fueron clasificados como aquellos destinados a confeccionar cartas náuticas usadas habitualmente en la navegación marítima. Los levantamientos especiales para ingeniería y proyectos de investigación no fueron considerados. El estudio se limita a determinar la densidad y precisión de las mediciones necesarias para representar el fondo del mar y otros detalles con la precisión suficiente para la navegación.

La planificación de cada levantamiento hidrográfico y las especificaciones apropiadas es un mismo trabajo y es imposible preparar un tratado sobre normas de precisión para levantamientos hidrográficos aplicables a cualquier área a ser relevada. La densidad de los sondajes y la precisión de las mediciones depende de varios factores: deben considerarse la profundidad del agua, la composición y configuración del fondo y el tipo de buques que navegarán en el área.

Ciertos grados de precisión son, sin embargo, generalmente aceptados, para operaciones hidrográficas, y es razonable que tales normas deben ser establecidas para que puedan servir como una guía para planificar un levantamiento hidrográfico adecuado.

Los métodos de calibración, análisis estadísticos de los resultados, etc., necesarios para obtener la precisión requerida, no están establecidos dado que estos temas están más allá del objetivo de este estudio y deben figurar en manuales de instrucción apropiados. No obstante, estos temas fueron estudiados y tomados en cuenta al establecer las normas de precisión.

www.iho.shom.fr
↳ Publicaciones
↳ S-44 (Normas)

LAS NORMAS

PARTE A - ESCALA DEL LEVANTAMIENTO Y DENSIDAD DE SONDAJES

SECCION A.1 - ESCALA DEL LEVANTAMIENTO.

A.1.1. La escala a la cual un levantamiento debe ser volcado determina en gran medida la precisión mínima con que deben hacerse las mediciones y la cantidad de detalles que pueden incluirse. La escala es, necesariamente, compromiso entre el tiempo y el esfuerzo posible, el uso que se piensa dar al levantamiento, y la complejidad topográfica del fondo y la línea de costa adyacente. Las escalas de la sección A.1 y el espaciamiento entre líneas de la sección A.2 se recomiendan como una guía. La escala adoptada nunca debe ser menor que la de la carta proyectada.

A.1.2 Los puertos, canales y aguas que requieren pilotaje deben ser levantadas a una escala de 1:10 000 o mayor.

A.1.3. Las vías de acceso a puertos y otras aguas usadas regularmente por buques deben ser levantadas a una escala de 1:20.000 o mayor.

A.1.4. Las áreas costeras con una profundidad no menor de 30 mts. (40 mts. donde pueden llegar a operar Super-petroleros o se supone la existencia de otros peligros) deben ser levantadas a una escala de 1:50.000 o mayor.

A.1.5. Los levantamientos hidrográficos en profundidades entre los 30 y 200 metros pueden ser volcados a una escala menor que de 1:50.000, dependiendo de muchos factores, siendo los más críticos de ellos la importancia del área cubierta y la profundidad y configuración del fondo. La escala no debe ser menor de 1:100.000 excepto en circunstancias inusuales.

SECCION A.2 - INTERVALO ENTRE LINEAS DE SONDAJE

A.2.1. El intervalo entre líneas de sondaje debe ser determinado teniendo en cuenta la importancia del área y las características topográficas de la superficie cubierta por la sonda y los medios disponibles para la investigación entre líneas.

A.2.2. En principio, el intervalo entre líneas principales de sondaje debe ser el equivalente a no más de 10 mm. a la escala del levantamiento. 10 mm

A.2.3. El intervalo recomendado en A.2.2. debe ser reducido cuando el fondo del mar es anormalmente irregular y puede ser incrementado cuando se dispone de ecosondas multidireccionales o medios de investigación para anomalías entre líneas.

A.2.4. Todas las profundidades anómalas detectadas deben ser examinadas en mayor detalle y determinar profundidades mínimas sobre ellas.

A.2.5. Las líneas de sondajes transversales de comprobación deben ser siempre efectuadas para confirmar la precisión del posicionamiento, de los sondajes y de las reducciones por marea. El intervalo entre las líneas transversales de comprobación normalmente no debe ser mayor de diez veces el de las líneas principales de sondaje.

SECCION A.3 - INTERVALO ENTRE SONDAJES VOLCADOS

A.3.1. Los sondajes volcados a lo largo de las líneas principales de sondajes deben ser seleccionados dando prioridad a los picos, pozos y puntos de cambio de pendiente. Los sondajes intermedios deben ser luego seleccionados a intervalos que no excedan los 5 mm. a la escala de los levantamientos, excepto donde el fondo marino sea plano, en donde el intervalo puede ser incrementado a 10 mm.

SECCION A.4 - ESPACIAMIENTO DE PUNTOS DE POSICION

El espaciamiento entre puntos de posiciones en el plano del levantamiento en principio no deberá ser mayor de 40 mm. Si el buque está navegando en arco, el intervalo deberá reducirse para permitir mayor precisión en el volcado de sondajes intermedios.

SECCION A.5 - DERROTAS RECOMENDADAS

Trayectorias

Toda derrota recomendada para la navegación debe ser sondada longitudinalmente al menos una vez en ambas direcciones Se recomienda que este sondaje sea complementado por una investigación con sonar a ambos lados de la derrota.

SECCION A.6 - DATOS NO NORMALIZADOS

La información de levantamientos hidrográficos que no se ajuste a las normas previstas en este documento será siempre destacada relacionándola con las limitaciones de precisión. Considerando la velocidad y la magnitud de la tarea, puede recurrirse al uso de levantamientos corrientes, expeditivos y al empleo de tecnología en desarrollo como sensores remotos y sistemas electro-ópticos.
En ciertas circunstancias la información proveniente de tales levantamientos puede resultar un mejoramiento de la información existente pero es aceptable sólo si se aclara como obtenida fuera de norma.

SECCION B.I - CONTROL HORIZONTAL

B.I.1. Los puntos de control de costa de primer orden deben ser determinados por medio de métodos topográficos con una precisión de 1:10.000
Donde el levantamiento es amplio, debe adoptarse un grado mayor de precisión para asegurar que las posiciones relativas tengan un error no mayor que la mitad del error de vuelco gráfico a la escala del levantamiento.

B.I.2. Cuando se usa posicionamiento satelitario para determinar la ubicación de estaciones costeras, deben hacerse vinculaciones a los sistemas (datum) horizontales locales.

B.I.3. Cuando no existen puntos geodésicos de control, un punto de origen para el control horizontal debe ser determinado por observaciones astronómicas o posicionamiento de satélite; el error probable del mismo debe no exceder los 2" de arco o aproximadamente 60 mts.

B.I.4. Las estaciones secundarias, requeridas para el posicionamiento local (generalmente visual) que no serán usadas para ampliar el canevas geodésico, deben ser ubicadas de tal manera que el error no exceda el error de vuelco gráfico a la escala del levantamiento (p.ej. 0.5 mm. en el papel).

B.I.5. La posición de sondajes, peligros y todas las otras características significativas debe ser determinada con una precisión tal que todo error probable medido con referencia a las estaciones costeras rara vez excederá las dos veces del mínimo error de vuelvo gráfico a la escala del levantamiento (p.ej. 1 mm. en el papel). Es preferible que toda vez que las posiciones sean determinadas por la intersección de líneas de posición, sean usadas 3 de tales líneas. El ángulo entre cualquier par no debe ser menor de 30°.

B.I.6. La posición de ayudas a la navegación fijas y las instalaciones mar adentro erigidas sobre la superficie del agua deben ser determinadas, toda vez que sea posible, con las mismas normas que las estaciones de primer orden.

B.I.7. Las ayudas a la navegación flotantes deben ser determinadas tan precisamente como sea posible y con un error probable que no exceda 2 veces el mínimo error de vuelco gráfico a la escala del levantamiento (p.ej.1 mm en el papel).

SECCION C.1 - PROFUNDIDADES MEDIDAS

C.1.1. El error en la medición de profundidades no debe exceder:
a.- 0.3 mts de 0 a 30 mts.
b.- 1.0 mts de 30 a 100 mts.
c.- 1% de profundidades mayores de 100 mts.

C.1.2. Las profundidades medidas deben ser reducidas al nivel de reducción de sondajes aplicando la altura de marea. El error de tales reducciones no debe exceder de los errores aceptables para las mediciones de profundidades especificados en C.1.1. Las profundidades mayores de 200 mts. normalmente no necesitan ser reducidas por la altura de marea.

C.1.3. Una diferencia en profundidad en la intersección de dos líneas de corte de sondajes que exceda 2 veces los valores dados en C.1.1. debe ser investigada. Tal discrepancia puede deberse a un error de posición de sondaje, o de reducción por mareas.

SECCION C.2 - DETERMINACION DE MINIMA PROFUNDIDAD SOBRE CASCOS HUNDIDOS Y OBSTRUCCIONES

C.2.1. Los cascos y obstrucciones que puedan tener profundidades menores de 40 mts. y puedan ser peligrosos para la navegación de superficie deben ser físicamente examinados por buceo o rastra toda vez que sea posible para determinar la mínima profundidad sobre ellos. Debe obtenerse el mismo nivel de precisión que en los sondajes especificados en C.1.1. cuando el equipamiento lo permita.

SECCION D.1 NATURALEZA DEL FONDO

D.1.1. Las muestras de fondo deben obtenerse en profundidades menores de 100 mts. para proveer información para el fondeo. Como una guía general, que depende de la capacidad de otros medios de evaluar la naturaleza del fondo (sonar, cámaras de TV y buceo), el muestreo de fondo debe espaciarse como sigue:

a.- En general: a intervalos de 10 cm. a la escala del levantamiento.

b.- En áreas que se considera que pueden ser utilizadas como fondeaderos - lo necesario como para indicar los límites de los diferentes tipos de fondo.

SECCION D.2 - OBSERVACIONES DE MAREA

D.2.1. Las observaciones de marea deben hacerse durante todo el curso de un levantamiento con el propósito de:

a.- proveer reducciones de marea para sondajes.

b.- Proveer información para análisis de marea, para lo cual las observaciones deben extenderse un período lo más largo posible y no menor de 29 días.

D.2.2. Las alturas de marea deben observarse con una precisión de al menos 0.1 mts. Debe tratarse con cuidado de que las observaciones de mareas se obtengan para cada uno de los regímenes de marea que pueden ocurrir dentro del área a ser sondada.

SECCION D.3 - CORRIENTES Y CORRIENTES DE MAREA

D.3.1. La velocidad y la dirección de las corrientes o corrientes de marea que puedan exceder los 0.2 nudos, deben ser observadas a la entrada de los puertos y canales, en cualquier cambio de la dirección de un canal, en fondeaderos y proximidades a atracaderos. También es conveniente medir las corrientes costeras y de mar adentro cuando son lo suficientemente fuertes como para afectar la navegación.

D.3.2. La corriente en cada posición debe medirse en profundidades entre los 3 y 10 mts. Donde la amplitud de marea sea significativa, las mediciones deberán hacerse en la plea y bajamar durante un período de al menos 26 hs. Deben hacerse observaciones simultáneas de altura de marea.

D.3.3. La velocidad y dirección de la corriente deben medirse aproximadamente a 0.1 nudos y ±10° respectivamente.

Tolerancia

S - 44

NORMAS DE LA OHI PARA LEVANTAMIENTOS HIDROGRAFICOS

4ª Edicion

1998

Capítulo 1 CLASIFICACION DE LEVANTAMIENTOS

Para clasificar de una manera sistemática los diferentes requerimientos de precisión en las áreas que deben ser levantadas, se han definido cuatro órdenes de levantamientos. Estas se describen en las Tablas 1 y 2, las cuales resumen todos los requerimientos y son, de hecho, la esencia de las normas completas.

Orden Especial - Los levantamientos hidrográficos de Orden Especial se aproximan a las normas de ingeniería y la intención es que su uso se limite a áreas críticas específicas con un margen mínimo bajo la quilla y donde las características del fondo sean potencialmente peligrosas para las embarcaciones. Estas áreas deben ser determinadas explícitamente por la organizacion responsable de la calidad del levantamiento. Son ejemplos de las mismas puertos, fondeaderos, y canales críticos asociados. Todas las fuentes de error deben ser minimizadas. El Orden Especial requiere el uso de líneas de sonda poco separadas, junto con el uso de sonar lateral, equipos multi-transductores o sondadores acústicos multi-haz de alta resolución, para conseguir una cobertura del 100% del fondo. Debe asegurarse que las formas cúbicas mayores de 1 m puedan ser discriminadas por el equipo de sondeo. El uso de sonar lateral junto con un sondador acústico multihaz puede ser necesario en áreas donde puedan encontrarse obstáculos delgados y peligrosos.

Orden 1 - Los levantamientos hidrográficos de Orden 1 están concebidos para puertos, canales de acceso a puertos, derrotas recomendadas, canales de navegación interior, y áreas costeras de alta densidad de tráfico comercial donde el margen bajo la quilla es menos crítico y las propiedades geofísicas del fondo son menos peligrosas para las embarcaciones (por ejemplo, fondo de arena o lodo blando). Los levantamientos de Orden 1 deberían limitarse a áreas con una profundidad menor de 100 m. Aunque los requerimientos para la investigación del fondo son menos rígidos que los correspondientes al Orden Especial, se requiere una cobertura total del fondo en áreas seleccionadas donde las características del fondo y el riesgo de obstrucciones son potencialmente peligrosos para las embarcaciones. Para estas áreas, debe asegurarse que las formas cúbicas mayores de 2 m puedan ser discriminadas por los equipos de sondeo en profundidades de hasta 40 m o que en áreas investigadas más profundas se puedan detectar los obstáculos que superen, en dimensión, el 10% de la profundidad.

Orden 2 - Los levantamientos hidrográficos de Orden 2 se proponen para áreas de profundidad menor que 200 m no cubiertas por el Orden Especial o el Orden 1, y en las que una descripción general de la batimetría es suficiente para asegurar que no existen obstrucciones en el fondo que pudieran poner en peligro las embarcaciones que se supone transitarán o trabajarán en el área. Este es el criterio para una variedad de usos marítimos para los cuales no se justifican levantamientos hidrográficos de órdenes superiores. Puede requerirse una investigación total del fondo en áreas seleccionadas donde las características del fondo y el riesgo de obstrucciones puedan ser potencialmente peligrosos para las embarcaciones.

Orden 3 - Los levantamientos hidrográficos de Orden 3 se proponen para todas las áreas no cubiertas por el Orden Especial y los Ordenes 1 y 2, en profundidades mayores a 200 m.

Notas:

- Para los levantamientos de Orden Especial y Orden 1, la organización responsable de la calidad del levantamiento puede definir un límite de profundidad más allá del cual no se requiera, a los efectos de la seguridad de la navegación, una investigación detallada del fondo.

- El sonar lateral no debe usarse para la determinación de profundidades pero si para definir sectores que requieran una investigación más detallada y precisa.

TABLA 1

Resumen de Normas Mínimas para Levantamientos Hidrográficos

ORDEN	ESPECIAL	1	2	3
Ejemplos de áreas típicas	Puertos, áreas de amarre y canales críticos asociados con márgenes mínimos bajo la quilla	Puertos, canales de acceso a puertos, derrotas recomendadas y ciertas áreas costeras con profundidades de hasta 100 m	Areas no descritas en Orden Especial y Orden 1, o áreas de hasta 200 m de profundidad	Zonas costa afuera no descritas en Orden Especial, y Ordenes 1 y 2
Exactitud Horizontal (95% de nivel de confianza)	2 m	5 m + 5% de la profundidad	20 m + 5% de la profundidad	150 m + 5% de la profundidad
Exactitud para la profundidad reducida (95% de nivel de confianza) [1]	a=0,25 m b=0,0075	a=0,5 m b=0,013	a=1,0 m b=0,023	Igual que en Orden 2
Investigación del 100% del fondo	Obligatorio [2]	Requerido en áreas seleccionadas [2]	Puede ser requerido en áreas seleccionadas	No aplicable
Capacidad del sistema de detección	Formas cúbicas > 1 metro	Formas cúbicas > 2 metros en profundidades de hasta 40 m; 10% de las profundidades mayores de 40 m [3]	Igual al Orden 1	No aplicable
Máxima separación entre líneas [4]	No aplicable, dada la obligación de una investigación del 100%	3 x profundidad promedio ó 25 m, la que sea mayor	3-4 x profundidad promedio ó 200 m, la que sea mayor	4 x profundidad promedio

[1] Para calcular el límite del error en la exactitud de la profundidad, los valores correspondientes de "a" y "b" dados en la Tabla 1 deben ser introducidos en la fórmula

$$\pm\sqrt{[a^2+(b*d)^2]}$$

donde:

- a — error de profundidad constante (por ejemplo: la suma de todos los errores constantes)
- b*d — error dependiente de la profundidad (por ejemplo: la suma de todos los errores dependientes)
- b — factor del error dependiente de la profundidad
- d — profundidad

(2) Para fines de seguridad náutica, el uso de un rastreo mecánico precisamente especificado para asegurar un margen de seguridad mínimo en el área puede ser considerado suficiente para los levantamientos de Orden Especial y Orden 1.

(3) El valor de 40 m ha sido escogido considerando el máximo calado esperado de los buques.

(4) La separación entre líneas puede ser aumentada si se usan procedimientos para asegurar una densidad de sondeo adecuada (ver 3.4.2)

Los renglones de la Tabla 1 se explican a continuación:

- Renglón 1 "Ejemplos de Areas Típicas": da ejemplos de áreas a las cuales puede ser aplicada un orden de levantamiento.

- Renglón 2 "Exactitud Horizontal": enumera las precisiones de posicionamiento a ser logradas para cumplir con cada orden de levantamiento.

- Renglón 3 "Exactitud de la Profundidad": especifica los parámetros a ser usados para calcular las exactitudes de profundidades reducidas requeridas para cada orden de levantamiento.

- Renglón 4 "Investigación del 100% del fondo": especifica las ocasiones en que debe realizarse una investigación total del fondo.

- Renglón 5 "Capacidad de Detección del Sistema": especifica las capacidades de detección de los sistemas usados para la investigación del fondo.

- Renglón 6 "Máxima separación entre líneas": debe ser interpretado como:
  - separación entre líneas de sonda para sondas de haz simple, y
  - distancia entre los límites exteriores de las fajas para sistemas de sondeo por bandas.

Capítulo 2 POSICIONAMIENTO

2.1 Introducción

La exactitud de una posición es la exactitud en la posición de un objeto (ej, sondeo, ayuda a la navegación) que debe ser situada en el marco de referencia geodésico; pero véase el párrafo 2.3.

Si la exactitud de una posición se ve afectada por parámetros diferentes, deben considerarse las contribuciones de todos los parámetros al error total de la posición.

Debe adoptarse un método estadístico, que combine diferentes fuentes de error, para determinar la exactitud en el posicionamiento. El error de posición para un 95% de nivel de confianza debe ser registrado junto con los datos del levantamiento (ver también 5.2).

Las posiciones deben ser referidas a un sistema de referencia geodésico, recomendándose el Sistema Geodésico Mundial (WGS 84). Si excepcionalmente las posiciones se refieren al datum horizontal local, este datum local debe estar vinculado a un sistema de referencia geocéntrico, como el WGS 84.

Cuando las posiciones sean determinadas mediante sistemas terrestres, se recomienda especialmente que sean observadas líneas redundantes de posición. Las técnicas normales de calibración deben ser efectuadas antes y después de la adquisición de los datos. Los sistemas de posicionamiento por satélite deben ser capaces de seguir al menos 5 satélites simultáneamente; se recomienda el control integral para los levantamientos de Orden Especial y Orden 1.

2.2 Red Planimétrica (Apoyo Horizontal)

Los puntos de apoyo primario deben ser situados mediante métodos terrestres con una exactitud relativa de 1:100.000. Cuando se usen métodos de posicionamiento geodésico por satélite para establecer dichos puntos, el error no debe exceder 10 cm para un nivel de confianza de 95%.

Las estaciones secundarias para el posicionamiento local que no sean usadas para extender el apoyo deben ser posicionadas de manera que el error no supere 1:10.000 para técnicas de levantamiento terrestre ó 50 cm usando métodos de posicionamiento geodésicos por satélite.

2.3 Posicionamiento de las Sondas

La posición de las sondas, peligros, y todo otro accidente o forma sumergida debe ser determinada de manera que la exactitud horizontal sea como la especificada en la Tabla 1.

La exactitud de la posición de una sonda es la exactitud en la posición de la sonda en el fondo situado dentro de un marco de referencia geodésico. La excepción a ésto son los levantamientos de Orden 2 y 3 que usen sondadores de haz simple, en los que la exactitud es la de la posición del sensor del sistema de sondeo. En estos casos, la organización responsable de la calidad del levantamiento debe determinar la precisión de las posiciones de las sondas en el fondo marino.

2.4 Ayudas a la Navegación y Puntos Notables

Las posiciones horizontales de las ayudas a la navegación y otros puntos notables deberían ser determinadas con la exactitud establecida en la Tabla 2, para un nivel de confianza del 95%.

Tabla 2

Resumen de las Normas Mínimas para la Determinación de las Ayudas a la Navegación y de los Puntos Notables

	LEVANTAMIENTO DE ORDEN ESPECIAL	LEVANTAMIENTO DE ORDEN 1	LEVANTAMIENTO DE ORDENES 2 Y 3
Ayudas fijas y puntos notables para navegación	2 m	2 m	5 m
Línea natural de costa	10 m	20 m	20 m
Posición media de ayudas flotantes a la navegación	10 m	10 m	20 m
Accidentes topográficos	10 m	20 m	20 m

Capítulo 3 PROFUNDIDADES

3.1 Introducción

La navegación de buques comerciales requiere un conocimiento cada vez más fidedigno y exacto de las profundidades para explotar, de manera segura, las capacidades máximas de carga. Es imperativo que en áreas críticas, particularmente en áreas de escaso margen bajo la quilla y cuando exista la posibilidad de obstrucciones, las normas de exactitud para determinar las profundidades sean más estrictas, comparadas con las establecidas en el pasado, y que se efectúe una adecuada investigación del fondo.

3.2 Exactitud de Profundidad

La exactitud de la profundidad debe ser entendida como la exactitud de las profundidades reducidas. En la determinación de la exactitud de la profundidad, las fuentes de errores individuales deben ser cuantificadas. Todas las fuentes de error deben ser combinadas para obtener un Error de Propagación Total (EPT). El EPT resulta de la combinación de todos los errores que contribuyen, los que incluyen entre otros:

a) errores del sistema de medición y de la velocidad del sonido
b) errores de medición de marea y de modelado
c) errores en el procesado de datos

Para determinar la exactitud de la profundidad, debe adoptarse y comprobarse un método estadístico que combine todos los errores conocidos (ver también Capítulo 7).

El EPT, determinado estadísticamente para un nivel de confianza del 95%, es el valor usado para describir la exactitud de profundidad lograda. El EPT debe ser registrado junto con el valor de la sonda (ver también 5.2).

Reconociendo que, tanto los errores dependientes como los constantes afectan la exactitud de la profundidad, la fórmula bajo la Tabla 1 en el Capítulo 1 debe ser usada para calcular, con un nivel de confianza del 95%, los errores de profundidad admisibles usando para "a" y "b" los valores del renglón 3 de la Tabla 1.

3.3 Medición de Profundidad

La determinación de la topografía general del fondo, la reducción de mareas, y la detección, clasificación, y medición de los peligros del fondo constituyen tareas fundamentales de los levantamientos hidrográficos. Las profundidades por encima de los peligros deben ser determinadas al menos con una exactitud de profundidad como la especificada para el Orden 1 en la Tabla 1.

Para naufragios y obstrucciones que puedan tener menos de 40 m de margen sobre ellos y puedan ser peligrosos para la navegación de superficie, la menor profundidad sobre ellos debería ser determinada ya sea mediante investigación con sonar de alta definición ó mediante una inspección física (buceo). Puede usarse el rastreo mecánico cuando garantice una profundidad con un margen de seguridad mínimo.

Todos los accidentes anómalos previamente informados en el área del levantamiento y aquellos detectados durante el levantamiento deben ser examinados con gran detalle y, si se confirman, su profundidad mínima debe ser determinada. La organización responsable de la calidad del levantamiento puede definir un límite de profundidad más allá del cual no se requiera una investigación detallada del fondo y, por lo tanto, no se necesite un examen de los accidentes anómalos.

Las profundidades medidas deben ser reducidas al datum (nivel de reducción) de la carta o al del levantamiento, mediante la aplicación de la altura de marea o del agua. La reducción de marea no debe ser aplicada a profundidades superiores a los 200 m, excepto cuando las mareas contribuyan significativamente al EPT.

3.4 Densidad de las Sondas

3.4.1 Introducción

En el planeamiento de la densidad de las sondas, debe tenerse en cuenta tanto la naturaleza del fondo en el área como los requerimientos de los usuarios, para asegurar una investigación adecuada del fondo.

Debe notarse que ningún método, ni siquiera la investigación del 100%, que es lo deseable, garantiza por sí mismo la fiabilidad del levantamiento. Además, no puede descartarse con seguridad la existencia de peligros para la navegación; en particular, la existencia o no entre las líneas de sonda de peligros naturales aislados u objetos originados por el hombre, tales como naufragios.

3.4.2 Separación entre Líneas

La Tabla 1 propone una separación apropiada entre las líneas para los distintos órdenes de levantamientos. Los resultados de un levantamiento deben ser evaluados usando procedimientos desarrollados por la organización responsable de la calidad del levantamiento. Basándose en estos procedimientos, debe decidirse si la extensión de la investigación del fondo es adecuada y si la separación entre líneas debe ser reducida o ampliada.

Estos procedimientos pueden incluir un adecuado análisis estadístico de error, el cual debe tomar en consideración los errores de interpolación, así como los errores en profundidad y posicionamiento de las profundidades medidas (ver también Capítulo 7).

Capítulo 4 MEDICIONES VARIAS

4.1 Muestreo del Fondo

La naturaleza del fondo debe ser determinada mediante muestreo o puede ser inferida a partir de otros sensores (por ejemplo, sondadores de haz simple, sonar de barrido lateral, perfilador de subfondo, video, etc) hasta la profundidad requerida por las condiciones locales de fondeo o garreo; en condiciones normales, el muestreo no es necesario para profundidades mayores de 200 m. Las muestras deben ser espaciadas de acuerdo con la geología del fondo. El espaciado entre las muestras debe ser normalmente 10 veces la separación entre líneas elegido. En áreas destinadas a fondeaderos, la densidad del muestreo debe ser incrementada. Cualquier inferencia técnica debe ser investigada con un muestreo físico.

4.2 Observaciones de Marea

La observación de la altura de marea debe hacerse durante el transcurso del levantamiento con los siguientes fines :

a) proporcionar reducciones de marea para las sondas, y

b) proporcionar datos para el análisis de mareas y la subsiguiente predicción, para cuyos propósitos las observaciones deben extenderse por un período lo más largo posible y no menor de 29 días.

Las alturas de marea deben ser observadas de manera que el error total de medición del mareógrafo, incluyendo el error temporal, no exceda +/- 5 cm con un 95% para los levantamientos de Orden Especial. Para otros levantamientos, no debe excederse de +/-10 cm.

Para que los datos batimétricos sean totalmente aprovechables en el futuro usando técnicas avanzadas de observación por satélite, las observaciones de marea deben ser referidas tanto a un datum de aguas bajas (usualmente LAT) como a un sistema de referencia geocéntrico, preferentemente el elipsoide del Sistema Geodésico Mundial 84 (WGS 84).

4.3 Observaciones de Corrientes de Marea

La velocidad y la dirección de las corrientes de marea que excedan los 0,5 nudos deben ser observadas en las entradas de los puertos y canales, en cualquier punto donde haya un cambio en la dirección de un canal, en fondeaderos y en proximidades de áreas de muelles. Es conveniente también la medición de las corrientes costeras y costa afuera cuando éstas tengan suficiente fuerza como para afectar la navegación de superficie.

La corriente de marea en cada posición debe ser medida a profundidades entre 3 y 10 m por debajo de la superficie. Deben efectuarse observaciones simultáneas de la altura de marea y de las condiciones meteorológicas.
Las observaciones de corrientes de marea deben hacerse usando dispositivos registradores. El período de observación no debe ser inferior a 15 días, a intervalos no mayores de 1 hora. Siempre que sea posible, el período de observación debe extenderse a 29 días o más. En forma alternativa, puede usarse una corredera de barquilla durante el período de máximo y mínimo movimiento de agua. La velocidad y dirección de la corriente de marea debe ser medida con una aproximación de 0,1 nudo y 10° respectivamente, para un 95% de nivel de confianza. Cuando exista una razón para creer que las descargas fluviales estacionales influyen sobre las corrientes de marea, las mediciones deben hacerse de forma que cubran el período completo de variación.

Capítulo 5 ASIGNACION DE ATRIBUTOS DE DATOS

5.1 General

Para permitir una evaluación total de la calidad de los datos del levantamiento, es necesario registrar o documentar cierta información junto con los datos del levantamiento. Dicha información es importante para permitir la explotación de los datos del levantamiento por una variedad de usuarios con diferentes requerimientos, especialmente cuando esos requerimientos no se conocen al recoger los datos.

El proceso de documentar la calidad de los datos se denomina asignación de atributos; la información sobre la calidad de los datos se denomina metadato.

Los metadatos deben comprender al menos la siguiente información:

- el levantamiento en general, es decir, fecha, área, equipo usado, nombre de la plataforma de levantamiento
- el sistema de referencia geodésico usado, por ejemplo, datum horizontal y vertical; incluyendo relación con WGS 84, cuando se usa un datum local
- procedimientos de calibración y resultados
- velocidad del sonido
- Datum de marea y reducción
- precisión lograda y los respectivos niveles de confianza

Los metadatos deben estar, preferentemente, en forma digital y ser parte integrante de los registros del levantamiento. Si esto no es factible, debe incluirse información similar en la documentación de un levantamiento.

Se recomienda que las organizaciones responsables de la calidad del levantamiento desarrollen y documenten sistemáticamente una lista de metadatos usados para sus datos de levantamiento.

5.2 Asignación de Atributos Puntuales

Todos los sondeos deben ser asignados con un error estadístico estimado del 95%, tanto para la posición como para la profundidad. Aunque esto debe ser hecho preferentemente para cada sonda individual, el error estimado puede también ser derivado a otros sondeos o hasta a un área, siempre y cuando las diferencias entre errores estimados puedan considerarse suficientemente despreciables.

En el caso de las posiciones, éstas deben ser clasificadas mediante el análisis de líneas de posición redundantes (sistemas terrestres) o mediante el control integral (sistemas por satélite); en el caso de las observaciones de profundidad, pueden ser clasificadas mediante el análisis de profundidades redundantes observadas, por ejemplo, en el cruce de las líneas de comprobación.

Se entiende que cada sensor (por ejemplo, posicionamiento, profundidad, cabezada, balance, sensores de características del fondo, sensores de parámetros de columnas de agua, sensores de reducción de mareas, modelos de reducción de datos, etc) posee características únicas de error. Cada sistema de levantamiento debe ser analizado en forma separada para determinar los procedimientos apropiados y así obtener las estadísticas espaciales requeridas. Estos procedimientos de análisis deben ser documentados o referidos en los registros del levantamiento.

Capítulo 6 ELIMINACION DE DATOS DUDOSOS

6.1 Introducción

Para mejorar la seguridad de la navegación es conveniente eliminar los datos dudosos, por ejemplo, datos que son usualmente mostrados en las cartas como PA (Posición Aproximada), PD (Posición Dudosa), SD (Sondeo Dudoso) o como "peligro comunicado". Para confirmar o descartar la existencia de estos datos es necesario definir cuidadosamente el área a ser investigada y luego levantar dicha área de acuerdo a las normas fijadas en esta publicación.

6.2 Extensión del Area a ser Investigada

Ninguna fórmula empírica para definir el área a levantar puede ajustarse a todas las situaciones. Por esta razón, se recomienda que los radios de investigación deben ser 3 veces el error de la posición estimada del peligro informado, para un nivel de confianza del 95%, determinado mediante una completa investigación del informe sobre el dato dudoso, realizada por un hidrógrafo calificado.

Si dicho informe es incompleto o ni siquiera existe, el error de posición debe ser estimado por otros medios tales como, por ejemplo, una evaluación más general de los errores de medición de profundidad y posición durante la época en que los datos en cuestión fueron recolectados.

6.3 Conducción de la Investigación

La metodología de conducción de la investigación debe basarse en el área en la cual se comunicó el dato dudoso y en el peligro estimado del riesgo para la navegación. Una vez que esto ha sido establecido, el procedimiento de investigación debe conducir a un levantamiento hidrográfico de la extensión definida en 6.2, de acuerdo con las normas establecidas en esta publicación.

6.4 Presentación de los Resultados de la Investigación

Los datos dudosos deben ser reemplazados con los datos actuales recogidos durante la investigación, se haya detectado o no el peligro. Si no se detectó, la organización responsable de la calidad del levantamiento deberá decidir si retiene el peligro en la carta o si lo elimina.

Capítulo 7 DIRECTRICES PARA EL CONTROL DE CALIDAD

7.1 Introducción

Para asegurar que se han alcanzado las exactitudes requeridas, es necesario comprobar y controlar el rendimiento. El establecimiento de procedimientos de control de calidad debe ser una alta prioridad para las autoridades hidrográficas. Este capítulo proporciona directrices para la implementación de dichos procedimientos.

7.2 Posicionamiento

El control de calidad para el posicionamiento, idealmente incluye la observación de líneas de posición redundantes y/o de estaciones de control que deben ser analizadas para obtener una estimación del error de posición.

Si el sistema de posicionamiento no ofrece redundancia ni otros medios de controlar el desempeño del sistema, el único medio para asegurar calidad es la calibración rigurosa y frecuente.

7.3 Profundidades

Debe hacerse un control de calidad normal para comprobar la validez de los sondeos mediante la obtención de mediciones adicionales de la profundidad. Las discrepancias deben ser tratadas estadísticamente para asegurar que el levantamiento cumpla con las previsiones de la Tabla 1. Las diferencias anómalas deben ser examinadas más en profundidad con un análisis sistemático de las fuentes de error que contribuyen a las mismas. Todas las discrepancias deben ser resueltas, ya sea mediante un análisis o mediante un nuevo levantamiento durante la ejecución de las tareas.

Siempre deben ejecutarse líneas de comprobación que crucen las líneas de sondeo principales para confirmar la exactitud del posicionamiento, del sondeo y de las reducciones de marea. Las líneas de comprobación deben estar espaciadas para que pueda efectuarse un eficiente y amplio control de las líneas de sonda principales. Puede tomarse como guía que la separación entre líneas de comprobación no debe ser normalmente mayor que 15 veces el valor seleccionado para las líneas de sonda.

7.4 Densidad de las Sondas

7.4.1 Sondadores de Haz Simple (SBES = single beam echo sounders).

Según las características del fondo, la separación entre líneas de la Tabla 1 se puede reducir o, si las circunstancias lo permiten, ampliar. Las líneas de comprobación deben ser realizadas a intervalos discretos (ver 7.3).

7.4.2 Sonar de Barrido Lateral (SSS = side scan sonar)

Cuando se usa SSS junto con SBES o MBES, se puede incrementar la separación prevista en Tabla 1, siempre que se asegure una adecuada cobertura del área directamente debajo del sensor hidrodinámico ("towfish").

7.4.3 Sondadores Multihaz (MBES = multi beam echo sounder)

Estos sondadores tienen un gran potencial para la cobertura exacta del fondo si se usa con procedimientos apropiados de levantamiento y calibración. Una evaluación apropiada de la exactitud de la medición con cada haz es obligatoria para el uso en áreas levantadas de acuerdo con las normas de Orden Especial y Orden 1. Si cualquiera de los haces exteriores tiene errores inaceptables, los datos relacionados deben ser excluidos. Si no se ve impedido por dificultades geográficas, todas las fajas deben ser cruzadas, por lo menos una vez, por una línea de comprobación para confirmar, por este método, las exactitudes del posicionamiento, de la medición de profundidades y de la reducción de profundidades.

7.4.4 Sistemas de Barrido (Sweep Systems)

Los sistemas de barrido transductores múltiples) proporcionan una tecnología para asegurar la exactitud y la cobertura total del fondo requerida por la Orden Especial. Es esencial que la distancia entre los transductores individuales y el área acústica de "ensonificación" sean ser igualadas con las profundidades que se miden, para asegurar una investigación total de la faja de medición. Si ciertas dificultades de índole geográfica no lo impiden, todos los "barridos" (ancho de cobertura usando un sistema de transductores múltiples) deben ser cruzados, por lo menos una vez, por una línea de comprobación, para confirmar, por este método, la exactitud del posicionamiento, de la medición de profundidades y de la reducción de profundidades.

7.4.5 Láser Aerotransportado.

Los sistemas láser aerotransportados son capaces de medir profundidades de 50 m o más, con la condición de que el agua esté clara. Los peligros a la navegación detectados por el láser aerotransportado deben ser examinados usando SBES, MBES o un láser aerotransportado de alta densidad. Todas las fajas deben ser cruzadas, por lo menos una vez, por una línea de comprobación para confirmar, por este método, la exactitud del posicionamiento, de la medición de profundidades y de la reducción de profundidades.

7.4.6 Geo-estadística

Cuando en un levantamiento no se ha investigado totalmente el fondo, los sondeos sólo proporcionan muestras del fondo en puntos discontinuos. En ese caso, es necesario interpolar las profundidades derivadas de los sondeos para obtener un modelo batimétrico que proporcione una estimación de la información de profundidad sobre la totalidad de la superficie del fondo.

Las técnicas de interpolación geo-estadística pueden ser usadas para estimar el error introducido por interpolación entre los sondeos, tomando en consideración las exactitudes de las profundidades reducidas y de las posiciones, así como la distribución espacial de las mediciones de profundidad.

Usando los valores de "a" y "b" de la Tabla 3, la fórmula bajo la Tabla 1 debe ser usada para calcular, para un nivel de confianza del 95%, los errores admisibles del modelo batimétrico. Si estos errores son sobrepasados, debe incrementarse la densidad de sondeos.

Tabla 3

Exactitud del Modelo Batimétrico

ORDEN	ESPECIAL	1	2	3
Exactitud del modelo batimétrico (95% de nivel de confianza)	No aplicable, pues la investigación del 100% del fondo es obligatoria	a= 1,0 m b= 0,026	a= 2,0 m b= 0,05	a= 5,0 m b= 0,05

Estas técnicas de interpolación, basadas en un apropiado análisis estadístico de errores que cuantifique la rugosidad del lecho, no deben ser usadas como único medio para evaluar la calidad de un levantamiento, ya que pueden no brindar en todos los casos estimaciones confiables de la exactitud del modelo batimétrico; particularmente si los levantamientos fueron realizados con una excesiva separación entre líneas.

7.5 Fuentes de Error y Estimación

Si bien el texto siguiente trata sobre los errores de datos adquiridos por sistemas multihaz, debe notarse que, en principio, es aplicable a los datos adquiridos con cualquier sistema de sondeo acústico.
Con sistemas de sondeos multihaz o multitransductor, la distancia entre las sondas sobre el fondo y la antena del sistema de posicionamiento puede ser muy grande, especialmente en aguas profundas con un sistema de franja ancha. Por esto, la exactitud del posicionamiento del sondeo depende también de la exactitud del girocompás, la inclinación del haz (o posición del transductor para sistemas de franja) y la profundidad del agua (sólo en los sistemas de barrido).

Los errores de balance y cabezada también contribuyen al error relativo del sondeo obtenido desde el transductor. En conjunto, puede ser muy difícil generalizar lo que se puede alcanzar como exactitud típica de posición para cada sonda como función de la profundidad. en alguno de estos sistemas modernos. Los errores están en función no sólo del sondador sino también de la embarcación y de la exactitud y posición de los sensores auxiliares.

El uso de haces no verticales introduce errores adicionales causados por el incorrecto conocimiento de la orientación del buque en el momento de la transmisión y recepción de los ecos sonar. Los errores inherentes al desarrollo de la posición de un haz individual deben incluir los siguientes:

a) error del sistema de posicionamiento,
b) error de medición de profundidad,
c) incertidumbre asociada con el modelo de la trayectoria del rayo (incluyendo el perfil de velocidad del sonido),
d) exactitud en el rumbo del buque,
e) identificación exacta de los errores puntuales del sistema resultantes de falta de alineación del transductor,
f) sensores del movimiento del buque (balanceo y cabezada), y
g) tiempo de "latencia".

Las organizaciones responsables de la calidad del levantamiento deben desarrollar la estimación de error para sus propios sistemas.

Glosario

exactitud (accuracy). El grado de concordancia de un valor medido o calculado con el valor verdadero.

modelo batimétrico (bathymetric model). Un modelo de superficie del fondo marino determinado por interpolación de un reticulado de profundidades dentro del muestreo de profundidades observadas. También llamado modelo de superficie del lecho marino o modelo de superficie del fondo marino o modelo del fondo marino.

Investigación del fondo (bottom search). Un método de exploración del lecho marino que trata de proporcionar una cobertura completa de un área con el fin de detectar todos los objetos referidos en esta publicación.

nivel de confianza (confidence level). La probabilidad de que un error no exceda un valor máximo especificado.

corrección (correction). Una cantidad que, aplicada a una observación o función de la misma, disminuye o elimina los efectos de errores, y da un valor mejorado de la observación o de la función. La corrección correspondiente a un determinado error es de la misma magnitud pero de signo opuesto. (S-32 de la OHI, Ed.1996, #1079)

error (error). Diferencia entre el valor observado o calculado de una cantidad y el valor ideal o verdadero de la misma. (S-32 de la OHI, Ed.1996, #1671)

geo-estadística (geostatiatics). El campo de la estadística que trata la estimación de la confianza de los valores interpolados que surgen de las mediciones de los datos georreferenciados.

línea de posición (LOP) (line of position). Una línea indicadora de una serie de posiciones de una embarcación. (S-32 de la OHI, Ed.1996, #2848)

metadatos (metadata). Información descriptiva de características de los datos (por ejemplo: la exactitud de datos de un levantamiento). La ISO (International Standards Organization) la define como descripción de un sistema de datos y sus aspectos utilitarios. Los metadatos son datos implícitamente relacionados con los datos recogidos. Algunos ejemplos de metadatos incluyen la calidad total, el título del sistema de datos, el origen, exactitud de posición y derechos de autor (copyright).

precisión (precision). Medida estadística de la repetición de un valor, usualmente expresado como varianza o desviación standard de mediciones repetidas.

certeza de calidad
(quality assurance)

Todas aquellas acciones planeadas y sistematizadas necesarias para asegurar convenientemente que un producto o servicio satisface determinados requisitos de calidad.

control de calidad
(quality control).

Todos los procedimientos que aseguran que los productos o resultados, reúnen ciertas normas y especificaciones. (S-32 de la OHI, Ed.1996, #4115)