

LEVANTAMIENTO DE CORRIENTES DE MAREA POR MEDIO DE LA AEROFOTOGRAMETRIA

Por

Ricardo MONTANER Sepúlveda
Instituto Hidrográfico
Armada de Chile



El estudio sistemático de las corrientes de marea constituye una de las misiones más interesantes a cargo del Instituto Hidrográfico de la Armada, tanto por la importancia que reviste para la seguridad en la navegación marítima en la costa austral de nuestro país, como por su incidencia como factor contribuyente en el

comercio y desarrollo económico de zonas de difícil acceso. En efecto, podemos citar además, que las obras marítimas, civiles y portuarias deben incluir durante su etapa de planificación datos concretos acerca de las características de las corrientes de marea, como factor determinante del costo de las mismas en su

aspecto de diseño y resistencia estructural. La ingeniería sanitaria necesita de esta información para la planificación de emisarios y colectores de descarga de aguas servidas, evitando así la contaminación orgánica de las zonas costeras adyacentes.

Este conocimiento es también un poderoso auxiliar en la planificación de la disposición final de residuos industriales, determinando así las posibilidades de vida de las especies ostrícolas y moluscos en general, cuyo cultivo a gran escala reviste un importante valor comercial que incide poderosamente en el desarrollo económico de las regiones aisladas de la zona sur de nuestro país.

El objeto del presente artículo es dar a conocer una de las posibilidades con que actualmente cuenta el Instituto Hidrográfico de la Armada para la ejecución masiva de levantamiento de corrientes de marea haciendo uso de una de sus técnicas más perfeccionadas: la aerofotogrametría.

1. GENERALIDADES

Las corrientes de marea pueden considerarse como generadas por la marea, o por otros factores que por lo general son de tipo meteorológico. Además, la corriente que se experimenta en una localidad cualquiera es generalmente el producto de una combinación de ambas causas. La corriente de marea puede definirse como un movimiento horizontal del agua provocado por la componente horizontal de la fuerza generadora de marea. Este movimiento es periódico, ya que la fuerza que lo produce está íntimamente relacionada con la cinemática de la Luna y el Sol, astros que determinan el valor de las fuerzas generadoras de marea como función de la atracción gravitatoria.

Las corrientes provocadas por factores meteorológicos suelen presentar a veces alguna periodicidad, la cual puede detectarse cuando las observaciones instrumentales se extienden por un gran lapso (más de seis meses). Las corrientes de marea en altamar son del tipo rotatorio, es decir, completan un giro de 360° ó 720° en un día lunar de 24 horas 50 minutos, lo cual a su vez depende si la marea predominante es del tipo diurno

o semidiurno. En las cercanías de la costa, especialmente en estuarios, estrechos y canales, las corrientes son del tipo reversible, invirtiendo su dirección en 180° dos a cuatro veces durante el día lunar.

Existen además corrientes que llamaremos "oceánicas", por pertenecer al sistema general de circulación de los océanos, y otras de carácter temporal u ocasional que son provocadas por diferencias en los parámetros físicos y químicos de dos masas de agua adyacentes. En lo que sigue de este artículo, nos referiremos únicamente a las corrientes de marea y, en especial, a las del tipo reversible.

2. APLICACION DE LA AEROFOTOGAMETRIA

En la generalidad de los casos, cuando las velocidades de corriente observada están comprendidas entre 0.3 y 6.0 nudos, resulta preferible el empleo de correntómetros convencionales, siempre que el tiempo disponible para efectuar el levantamiento no sea un factor de consideración. Estos levantamientos convencionales suelen demorar desde uno a varios meses, dependiendo de la extensión del área considerada. Sin embargo, cuando las velocidades a medirse exceden este límite, o cuando los accidentes hidrográficos no permiten el empleo seguro de embarcaciones (áreas de intenso oleaje o rompientes), el método aerofotogramétrico presenta ventajas innegables, pese a su elevado costo. Con ayuda de la Fig. 1, intentaré describir los fundamentos del método que ha sido desarrollado con éxito por el U.S. Coast & Geodetic Survey:

Veán en la Figura 1:

1 - 2 línea de vuelo del avión, y también los puntos donde la fotografía 1 y 2 es tomada respectivamente.

A posición inicial de un flotador.

E posición final del flotador.

AX componente de velocidad X.

AY componente de velocidad Y.

Primeramente es necesario lograr una orientación absoluta en el estereoplanígrafo (instrumento de uso común en aerofotogrametría), y luego obtener una identificación positiva del flotador con-

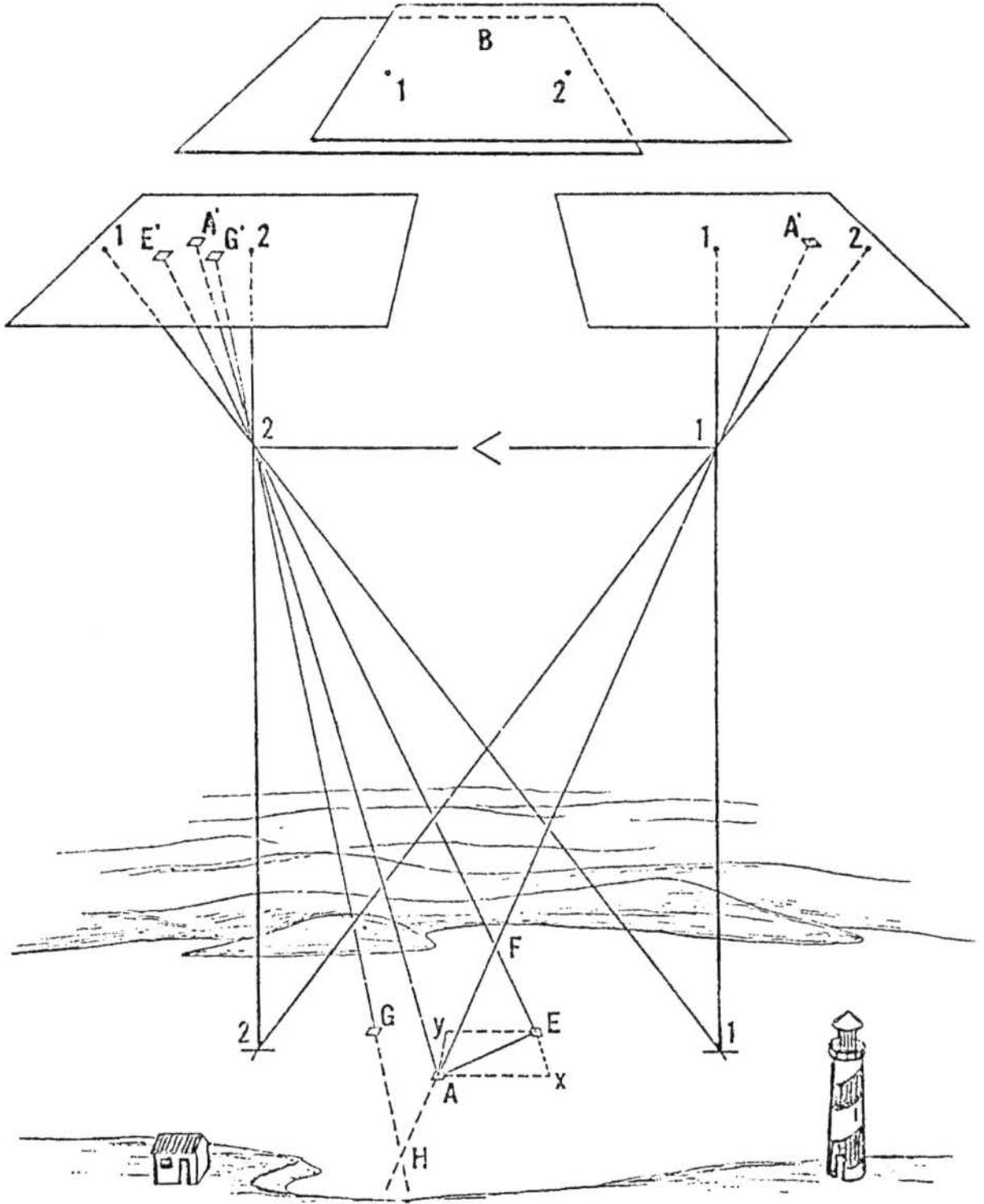


Fig. 1.

MEDICION AEROFOTOGRAMETRICA DE CORRIENTES

siderado. Las fotografías deben tener al menos un 60% de recubrimiento. Las diapositivas (placas de cristal) son colocadas en el estereoplanógrafo, lográndose una orientación absoluta en base a puntos de control en el terreno.

Si consideramos que el flotador se ha desplazado por efecto de la corriente desde la posición A hasta E en el intervalo de tiempo entre la toma de las fotografías 1 y 2, el flotador aparecerá en el estereoplanógrafo a una cierta altura con respecto al nivel del agua debido a que su movimiento ha sido contrario a la dirección de vuelo del avión, ocupando la posición aparente F. Si el flotador no se hubiese movido (estoa de la corriente), aparecería a nivel del agua en la posición A. Si el movimiento hubiese sido desde A hasta la posición G, el flotador aparecería bajo la superficie del agua, en la posición aparente H.

A continuación se miden con el instrumento las componentes AX y AY, datos que posteriormente permiten obtener la velocidad de la corriente en el intervalo considerado.

3. CONSIDERACIONES PREVIAS AL LEVANTAMIENTO

La planificación de un levantamiento de corrientes de marea empleando este sistema debe ser cuidadosa por cuanto el costo operacional del avión es elevado, y el apoyo terrestre necesario es considerable. Los puntos principales que deben considerarse dicen relación con los siguientes temas:

Preparación de los flotadores,

Método de lanzamiento,

Selección de la cámara, película y altura de vuelo,

Coordinación del avión con la partida de apoyo terrestre,

Programación del vuelo,

Selección de la fecha y hora de la toma fotográfica.

En lo que sigue, trataré de dar una visión general del proceso, dando especial consideración a algunos aspectos.

4. APOYO TERRESTRE

El personal de apoyo terrestre tiene a su cargo la operación de las estaciones

de corrientes convencionales que servirán de control, lanzar los flotadores a los intervalos de tiempo especificados, dar al avión la hora exacta de la máxima corriente para permitir que éste se encuentre sobre el área en el instante más conveniente (generalmente desde dos horas antes de la máxima corriente hasta dos horas después), señalar, ubicar y nivelar los puntos de control para la fotografía aérea.

Para cumplir con esta misión, la partida de apoyo terrestre deberá disponer de una o más lanchas rápidas y contar con un buen sistema de comunicaciones (lancha-control; control-avión), debiendo las lanchas contar además con suficiente espacio en cubierta para el transporte y lanzamiento de los flotadores. Los flotadores son hechos de placas de madera terciada pintados de amarillo y naranja internacional según un código establecido de antemano para facilitar posteriormente su identificación en la fotografía. Sus dimensiones deben ser determinadas en relación a la altura de vuelo del avión y a la escala de proyección elegida. Una dimensión conveniente es 2.40 x 1.20 metros x 1 pulgada. Estos flotadores no siempre es posible recuperarlos, de modo que su cantidad deberá ser determinada cuidadosamente.

Las estaciones convencionales de corriente (una en el centro del área y otra en un extremo) sirven el propósito de obtener información que posteriormente permitirá interpolar datos en los momentos en que el avión no vuela sobre el área. Proporcionan además un medio eficaz para verificar la exactitud de los datos obtenidos en el estereoplanógrafo.

El programa de vuelo del avión es determinado en la forma siguiente. Se elegirá el día (o los días) en que se registre la máxima corriente, ocurriendo esto en las proximidades del perigeo lunar y sicigias. Esto significa que deberán considerarse previamente los meses más convenientes para el vuelo de acuerdo con la estadística meteorológica disponible. Ubicado el mes más conveniente, deberá buscarse la semana en que las condiciones meteorológicas prometan ser más favorables. Si es posible, se escogerán aquellos días en los que se registre un ciclo completo de corriente reversible (12 horas 25 minutos) dentro de las

horas de luz. Si la toma se efectúa a razón de 4 horas de vuelo por día, el levantamiento quedaría completado en 4 días. Esto no siempre será fácil de lograr, principalmente por las condiciones meteorológicas reales y la trayectoria del sol sobre el lugar. A modo ilustrativo, durante el levantamiento de la Bahía de Charleston, Carolina del Sur (USA) fueron lanzados 500 flotadores (alrededor de 80 pies cúbicos de madera). La partida de apoyo terrestre fue compuesta de 14 hombres y 6 embarcaciones. El vuelo sobre el área totalizó 26 horas distribuidas en 6 días y se tomaron alrededor de 1.300 fotografías. Si el levantamiento hubiese sido del tipo convencional, habría tenido una duración aproximada de 6 meses, ocupando un buque tipo patrullero y 14 correntómetros.

5. PLANIFICACION DEL VUELO

Una planificación ideal sería aquella que permitiese realizar las tomas fotográficas de tal modo que el ciclo completo de corrientes tuviese lugar en horas de luz aptas para la fotografía. Esto es sencillamente imposible. Por horas de luz se consideran aquellas comprendidas desde una hora después de la salida del sol hasta una hora antes de su puesta. La situación de luz más conveniente suele presentarse durante el solsticio de verano (21 de diciembre para el hemisferio sur). Sin embargo, la inclinación de los rayos de luz solar suele ser tal que en las fotografías aparecen reflejos del sol en forma de manchas de color blanco que dificultan o imposibilitan la correcta identificación de los flotadores. Esta situación se evita espaciando la toma fotográfica durante varios días, en forma de obtener en cada día una parte del ciclo de corrientes y luego obtener por superposición el ciclo completo. La duración del levantamiento queda así determinada por el tiempo necesario para volar asegurando un cubrimiento completo del área. Para ello es necesario construir un croquis a la misma escala de la proyección final y plotear la trayectoria del sol para cada hora de los días considerados en el levantamiento con ayuda de las tablas del "Air Almanac". El gráfico permitirá luego trazar las diferentes líneas de vuelo de modo que el reflejo introdu-

cido por el sol sea mínimo. Con el fin de conseguir una orientación absoluta del par estereoscópico, es necesario incluir detalles del terreno a ambos lados de la fotografía, siendo éste uno de los factores principales en la selección de la altura de vuelo del avión y longitud focal del lente que deberá usar la cámara aérea. El traslapo óptimo entre las fotografías es de 80%, aunque es posible emplear con éxito el más económico del 60%.

La selección de la cámara, objetivo y emulsión son también importantes. Se desea lograr una gran resolución con una distorsión mínima. Las lentes ideales para este tipo de trabajo son las denominadas "gran angular" (3,5 pulgadas de longitud focal), pues permiten obtener un gran cubrimiento sin necesidad de aumentar la altura de vuelo del avión. La película de color es una de las más adecuadas para el levantamiento ya que facilita la identificación de los flotadores. Una solución económica es el empleo de película pancromática en combinación con un filtro azul negativo. Ofrece el inconveniente de no ayudar en la identificación de los flotadores, pero disminuye las "manchas solares" y permite obtener un buen detalle de la costa.

6. REDUCCION DE LOS DATOS

Una vez completadas las mediciones fotogramétricas mediante el esteoplanígrafo, se comparan sus resultados con los registros correntométricos de las estaciones de control que funcionaron durante el levantamiento, obteniéndose un factor de reducción de velocidades que permitirá interpolar velocidades en los instantes en que el avión no voló sobre el área. Las listas de velocidades y direcciones obtenidas son sometidas a partir de ese momento a los procedimientos convencionales para la construcción de una carta de corrientes de marea para el área considerada.

7. CONCLUSIONES

En los párrafos anteriores se han analizado con cierto detalle los fundamentos del método aerofotogramétrico para la medición masiva de corrientes de marea, posibilidad actualmente disponible

en el Instituto Hidrográfico de la Armada. Dejando de lado los planteamientos inherentes a la planificación de un levantamiento de este tipo, que debe ser esmeradísima por el elevado costo de operación del avión a cargo de la fotografía aérea, la aplicación del método dependerá principalmente en qué casos conviene y en cuáles no lo es.

Como norma general estos levantamientos siempre son convenientes cuando la relación superficie de levantamiento/costo de operación sea mayor que en

un levantamiento de tipo convencional. Esto lo limita a ser aplicado únicamente cuando la superficie es de dimensiones considerables.

Cuando la relación tiempo del levantamiento/costo de operación es analizada, las ventajas son evidentes en favor del método aerofotogramétrico. Si el único factor a considerarse es el tiempo, como es el caso de la planificación de operaciones militares, es el mejor método con que cuenta actualmente la hidrografía.

