

TEMA 7 – LEVANTAMIENTOS HIDROGRAFICOS¹

1. OBJETIVOS

Dentro de la Captura de datos, tratamos por separado los levantamientos terrestres, para diferenciarlos de los levantamientos aéreos y de los **levantamientos hidrográficos**. Estos se realizan con el propósito de determinar la forma de las costas; y el relieve sumergido de los lechos de los ríos, lagunas y mares.

- Los levantamientos hidrográficos sirven de base para: La planificación, desarrollo, mejoramiento y mantenimiento de las vías navegables en Ríos y mares.
- Estudios y control de proyectos de obras de Ingeniería, que se desarrollan bajo la superficie de las aguas. Veamos algunos ejemplos: las fundaciones de estribos y pilas de puentes carreteros, los túneles sub fluviales y los diques. Dársenas, tomas de agua, defensas de costas y puertos, etc.
- Los levantamientos hidrográficos son además imprescindibles para la determinación de **Líneas de Ribera** (en los ríos), **Perilago** (en los lagos) y **Líneas de Costas Marítimas** (en el mar). Operaciones éstas fundamentales, para la definición del deslinde entre la propiedad pública y privada, y de necesario conocimiento a la hora de proyectar cualquier obra pública.

Los métodos de levantamiento a aplicar, no se apartan en absoluto de los vistos y analizado en los levantamientos terrestres, con dos variantes esenciales:

La superficie a levantar no es visible

La superficie a levantar se encuentra sometida a permanentes cambios

Por el hecho de ser una superficie no visible, quedan excluidos como métodos de captura de datos: la fotogrametría y la teledetección, salvo para la porción terrestre que incluya el levantamiento.

A fin de analizar la metodología a aplicar, tomando en cuenta la dificultad que estas variantes nos presentan, para poder determinar la posición de los puntos sumergidos, trataremos en forma separada e independiente:

La posición planimétrica: Cordenadas X e Y

La posición altimétrica: Cota Ortométrica

Se podrá emplear los métodos ya vistos en los levantamientos areales o superficiales, y obtener como resultado un modelo digital de elevaciones MDE, o un plano con curvas de nivel en soporte papel (MAT). También podrán emplearse las alineaciones y obtener perfiles transversales del lecho de un río o costas marítimas. O bien, soluciones híbridas.

Dado que las curvas de nivel se encuentran sumergidas, para diferenciarlas de las terrestres se las dibuja en un color azul y se las llaman **curvas batimétricas**, el levantamiento recibe

¹ Topometría y Microgeodesia - Ap. clases 2000 - Ing. Agrim. Armando del Bianco. Dpto. FCEfYN - UNC

el nombre de **batimetría** (cuando la superficie relevada se encuentra totalmente sumergida) y **topo batimétrico** (cuando el levantamiento incluye sectores sumergidos y áreas visibles).

2. DETERMINACIÓN DE LA COTA DE PUNTOS SUMERGIDOS

Como en todo levantamiento, nos interesa determinar la **cota ortométrica** de los puntos, la cual generalmente estará referida al nivel medio del mar determinado por el mareógrafo del I.G.M. En otros casos, la elección del Sistema de referencia y más precisamente del datum vertical, dependerá de la finalidad del trabajo, de la cartografía disponible de la zona y del sistema utilizado en la zona.

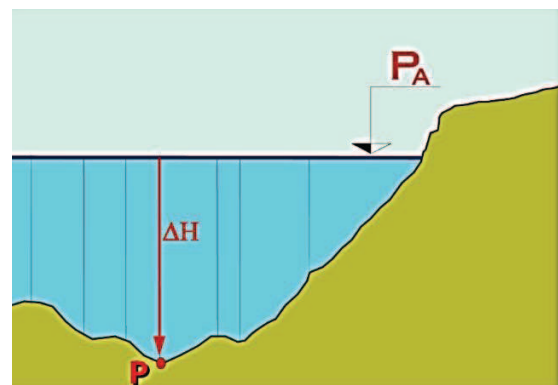
Así por ejemplo, si el levantamiento se realiza para la ejecución de un proyecto de puerto marítimo, lo más conveniente es vincularse al Servicio de Hidrografía naval. Si el proyecto es de un puerto a emplazarse en nuestro litoral fluvial, lo más conveniente es vincularse al Sistema del Servicio de Costas. Si por el contrario se trata de un proyecto de una carretera, el cual cruza por sobre un río o una bahía, dado que la mayor parte del proyecto se desarrolla sobre territorio continental, conviene vincularse al sistema altimétrico nacional del IGM.

- Para determinar la Cota de los puntos sumergidos, emplearemos una superficie de referencia temporal o auxiliar, la superficie de nivel que llamaremos: “pelo del agua”, es decir la superficie del volumen líquido

Para determinar la cota de un punto sumergido, procederemos en dos etapas:

I. Determinación de la cota de la superficie de referencia auxiliar (P_a)

II. Determinación de la diferencia de altura (ΔH), desde la superficie auxiliar “pelo del agua” hasta el punto (que deseamos levantar) ubicado en el lecho. Esta operación recibe el nombre de “sondeo”.



$$\text{Cota de } P = \text{Cota de } P_a - \text{sondeo } \Delta H$$

2.1. Determinación de la Cota de la Sup. Auxiliar

Para determinar la cota de referencia auxiliar, el “pelo del agua”, dependerá si se trata de la superficie de:

- un lago o laguna.
- río (de llanura, serrano o de cordillera)
- mar (estuarios, bahías o mar abierto)

2.1.1. En lagos o lagunas

La superficie líquida de un lago en reposo (caso ideal), representaría una superficie equipotencial, por tal motivo se podría tomar la cota del pelo del agua en cualquier punto de la costa, y generalizarla para toda la extensión del levantamiento.

$$\text{Cota de } P_a = \text{Cota PF} + (r - a)$$

Sin embargo, en la práctica sucede que la superficie del agua no está en reposo, debido a la **acción del viento**.

Tampoco es una superficie de nivel, ya que en la generalidad de los casos, prácticamente ningún lago es cerrado, existe siempre un desnivel entre los afluentes y el efluente (en lagos naturales) o vertedero (en lagos artificiales); y esto genera una pendiente de la superficie líquida. Es decir, la superficie de referencia está casi siempre inclinada.

Vientos.

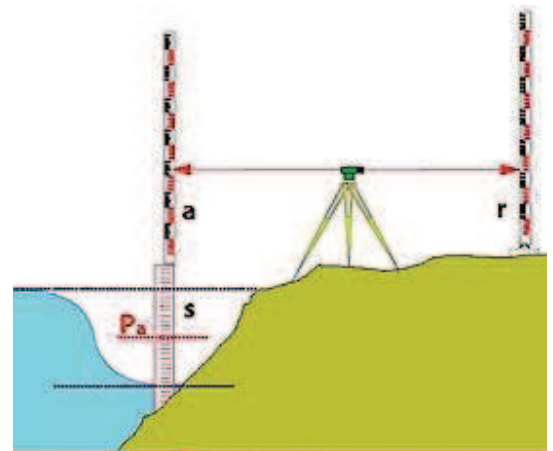
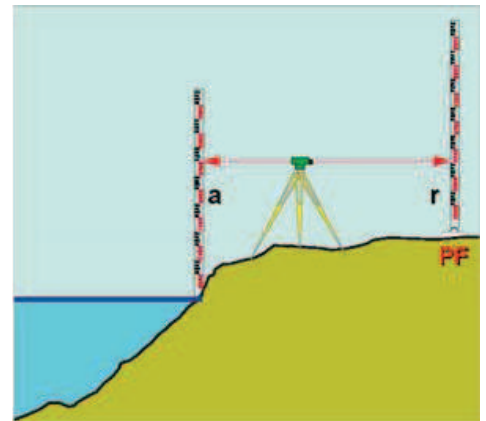
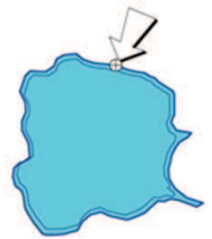
A fin de solucionar el problema, colocamos próximo a la orilla del lago una regla graduada, y durante el transcurso del levantamiento registramos los valores extremos (mínimos y máximos) alcanzados por las crestas de las olas, al finalizar la jornada de trabajo, relacionamos nuestra nivelación, con el valor medio que hemos registrado.

Este procedimiento dependerá de las precisiones perseguidas y de la extensión de la superficie del lago.

Así por ejemplo, es muy probable que dicho recurso no sea necesario en levantamientos batimétricos realizados en el Lago San Roque, pero sin duda sí lo será, en la Lag. Mar Chiquita, en el lago del Chocón, o en el lago Nahuel Huapí.

Pendiente.

Por otra parte, dijimos que el pelo de agua no es una superficie horizontal, ello se debe a las diferencias de alturas entre las llegadas de los afluentes y la salida de descarga. Por ello y como ya es costumbre, podemos generar un modelo digital de elevaciones de la superficie del líquido, componiendo curvas de igual altura, a partir de puntos observados sobre la costa, en las proximidades de los afluentes, en la boca de descarga y en algunos puntos intermedios.



$$\text{Cota de } P_a = \text{Cota PF} + r - (a + s)$$

Nota: NO son curvas batimétricas, se trata de un modelo de la superficie del lago.

La necesidad de generar un modelo de la superficie líquida y la densidad de puntos a levantar, dependerá de la pendiente del lago y las precisiones de los resultados que se pretenda lograr en el levantamiento.

2.1.2. En los Ríos

El nivel de la superficie del agua se encuentra en permanente cambio, ya que por una parte tiene una determinada **pendiente** en el sentido longitudinal, variando entre pendientes muy bajas como el 1‰ en ríos de llanura, hasta 10‰ en ríos de montaña.

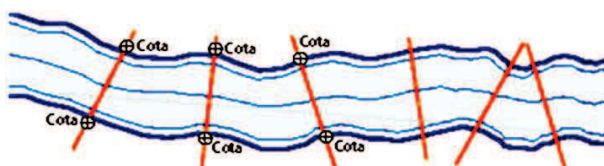
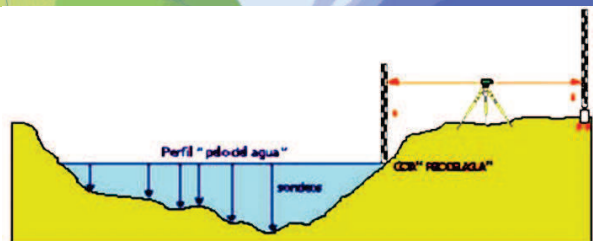
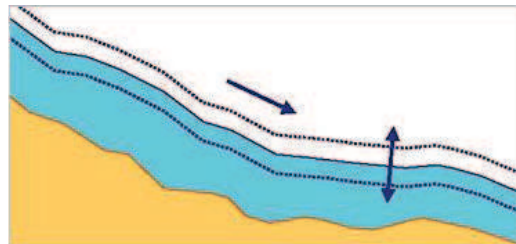
Y por otra parte, el caudal no es constante, especialmente en los grandes ríos como son los ríos de la Patagonia, por ejemplo el Río Colorado y el Río Negro.

O el Río de La Plata, el Río Uruguay y el Río Paraná, cuyas cuencas de aporte son muy extensas.

Estos dos condicionantes (superficie de referencia inclinada y caudal variable), nos impiden que podamos adoptar una superficie equipotencial de referencia.

Por tal motivo en lugar de adoptar una superficie auxiliar de referencia, en los ríos aceptaremos **un perfil de referencia**, tomado en el sentido transversal a la dirección de escorrentía del río y que solamente resulta válido para un instante de tiempo, de modo tal que las mediciones de sondeos deberá realizarse simultáneamente con las observaciones de la Cota del Pelo de Agua.

Cuando el levantamiento hidrográfico sirven de base para el control y mantenimiento de una vía navegable, es decir que se requiere de mediciones reiteradas en el tiempo y cálculos de movimientos del lecho fluvial, en esos



casos (como es obvio), no resulta práctico observar en cada medición y en cada perfil, la cota del pelo de agua, por tal motivo los sondeos se referencian a la cota de un hidrómetro particular u oficial

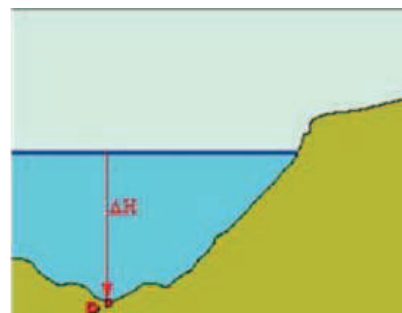
Estos instrumentos determinan el caudal del río y la cota del pelo de agua en un punto determinado. Los cálculos de las cotas de los puntos sondeados se realizan en pos proceso. O bien, si se dispone de un hidrómetro digital, se podrán emitir y recibir las “correcciones” por radio a tiempo real.



2.1.3. En los mares

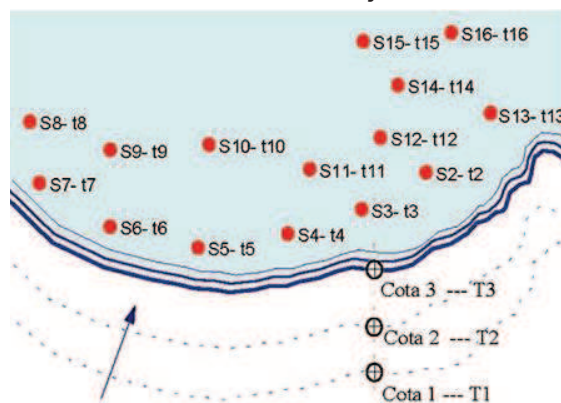
La superficie de los océanos y mares (como así también la desembocadura del Río de la Plata), lejos de ser una superficie en reposo, se encuentra en permanente movimiento a causa de las olas producidas por la acción del **viento**, la presión atmosférica y la acción de las **mareas**.

Ya hemos planteado una posible solución de cómo podemos proceder con el propósito de disminuir o atenuar la influencia de la acción del viento. Veamos ahora como podemos proceder con el efecto causado por las **mareas**.



La enorme masa de agua que conforman los mares, está sujeta a un permanente movimiento producto de la atracción que sobre la misma ejercen los cuerpos celestes, principalmente la luna y el sol, generando un movimiento ascendente y descendente llamado **mareas**².

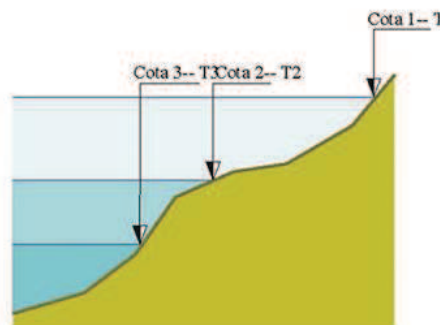
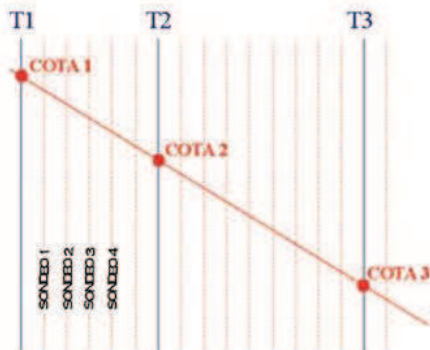
De modo tal, que una cota tomada del pelo del agua en un instante dado, dejó de ser válida minutos después, lo cual nos obligaría a medirlo de forma ininterrumpida mientras dure el levantamiento. A fin de solucionar este problema y sabiendo que la marea se mueve uniformemente respecto al tiempo, podemos aplicar el siguiente criterio:



- Ejecutar las mediciones del pelo del agua en distintos intervalos de tiempo, registrando en cada observación la hora.
- Ejecutar los sondeos en los lugares designados, registrando el tiempo en cada uno de ellos.

² Se adjunta al finalizar este Capítulo, un trabajo resumen de Mareas, dos de ellos muy básicos extractado de Internet. Y luego una publicación realizada por el Instituto Geográfico Militar. Topometría y Microgeodesia. Ing. Agrim. A. del Bianco. Dpto. FCEFyN - UNC

- En el pos proceso de cálculo de cotas del lecho del mar, interpolar la cota del pelo del agua entre dos observaciones contiguas.



A igual que lo que ocurría en los ríos navegables, cuando el levantamiento hidrográfico sirve de base para el control y mantenimiento del canal de navegación de acceso a un puerto, o se trata del monitoreo de la construcción de una obra civil, como por ejemplo la excavación de un emisario cloacal, que como en el caso de los ríos navegables se requiere de mediciones reiteradas en el tiempo, y cálculos periódicos de movimientos del lecho marino, en esos casos no es práctico observar en cada medición de forma directa la cota del pelo de agua, por tal motivo los sondeos se referencian a la cota de un mareógrafo particular u oficial.



Estos instrumentos registran la cota del pelo de agua en un punto determinado y los cálculos se realizan en pos proceso, o bien se puede disponer de un mareógrafo digital y recibir en la embarcación las “correcciones” por radio en tiempo real. Hay mareógrafos que permiten obtener observaciones cada segundo, lo cual hace que el instrumento pueda ser empleado también como un “oleógrafo”.



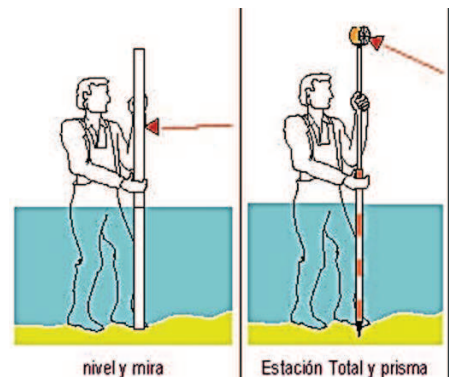
2.2. Determinación del Sondeo

A continuación, analizaremos algunos de los métodos posibles, para la determinación de la profundidad

2.2.1. Miras o prismas

- En los ríos pocos caudalosos y de baja profundidad, y la gran mayoría de los ríos serranos en época de estiaje.
- En lagunas, esteros y bañados de baja profundidad a los cuales se pueda acceder sin riesgos.

En estos casos, podemos apoyar la mira o el bastón porta prisma directamente sobre el lecho del río, y de esta forma obviar la operación de determinación de la cota de la superficie o del perfil auxiliar y desde luego también, la medición del sondeo.



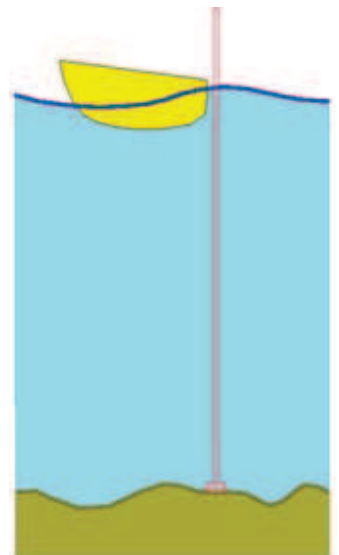
2.2.2. Varillas graduadas

En lagunas, esteros, bañados y en ríos de poca profundidad no corrientosos, cuando no se puede acceder a pie, y la única manera de hacerlo es con bote o lancha, el sondeo se puede realizar empleando varillas graduadas.

Con el objeto de facilitar su transporte se las puede armar en piezas enchufables o roscadas.

Cuando se las emplea en los ríos, la sección debe ser más gruesa y de bordes redondeados para evitar que la presión de la correntada las doble.

El cero de la mira se encuentra en el pie de apoyo, el cual debe tener una superficie plana para evitar que se hunda en el barro, lo cual generaría la introducción de un error en la medición y además dificultaría la extracción al trasladarse.



Ventajas: Cuando el río es poco profundo, se puede emplear una varilla de hierro de construcción al cual se le ha adosado una cinta metálica, es un modo muy rápido de realizar los sondeos.

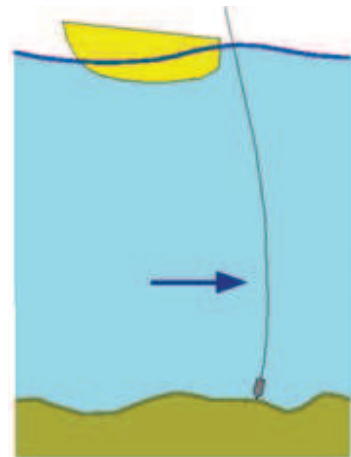
Desventajas: Cuando se emplean varillas encastradas, resulta un método bastante incómodo, ya que requiere estar permanentemente agregando y quitando tramos. El encastre entre tramos debe ser muy seguro para impedir que algunos de ellos quede sumergido. Si la sección es un caño hueco, hay que impedir que entre el agua sino las varillas se vuelven muy pesadas.

2.2.3. Sogas / alambres

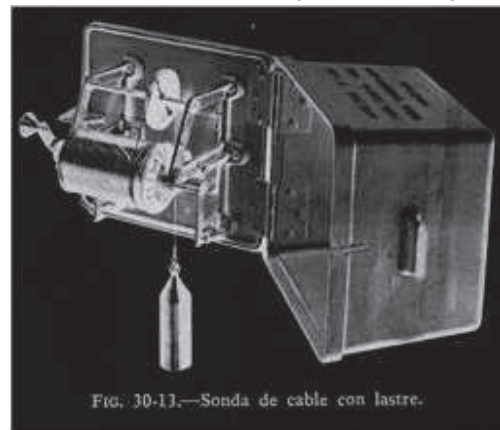
Es el método de sondeo tradicional por excelencia, frecuentemente se emplean sogas de cáñamo o nylon. Para poder medir la profundidad, sobre la soga se hacen marcas o nudos

a distancias constantes, dependiendo de las exigencias del trabajo, por ejemplo 1m - 0.5m - ó 20cm. Para ganar en velocidad, se acostumbra por ejemplo hacer un nudo cada 20 cm y colocar una marca bien visible cada metro. Entre las dos, conviene más usar cuerdas de nylon ya que la de cáñamo al mojarse se ponen duras y muy pesadas. Ambas con el continuo uso se deforman.

Necesariamente hay que colocarle un lastre en el “cero” de la soga, cuyo peso dependerá de la correntada (a mayor corriente, mayor peso) esto es para que se aparte, lo menos posible de la vertical, lo ideal sería además, que el lastre tuviera un par de aletas estabilizadoras para mejorar el descenso.



Antiguamente, como éste era la única forma posible para realizar el sondeo, para su empleo en aguas profundas, se perfeccionó al extremo para lograr mejores exactitudes, para ello se utilizaba alambres de acero de sección muy fina (cuerdas de piano) a fin de reducir a un mínimo la sección de resistencia. Pero al trabajar con un alambre tan fino, la operación de izado no podía ser ejecutada a mano, por tal motivo se adicionó un sistema de poleas y motor de arrastre. Como el alambre tampoco no podía ser marcado, al sistema se le agregó un cuenta vueltas mecánico. Además de embrague y freno regulable. Este complejo sistema que se utilizó durante varias décadas, quedó totalmente obsoleto con el empleo de las ecosondas.



En este método, resulta una solución muy práctica, reemplazar las sogas por el empleo de una cinta de hule centimetrada, PVC, o fibra de vidrio; la cual nos permite medir con mayor precisión y comodidad, es muy liviana y si es de buena calidad son ultra resistente a la deformación.

Ventajas: Aplicando esta variante, este método es ideal cuando los trabajos se realizan en lagos o lagunas de extensión reducida, con una profundidad máxima del orden de los 20m-25m, pues es un método económico, bastante rápido, cómodo y preciso.

Desventaja: Su mayor desventaja es la falta de verticalidad de la cinta, la cual se agrava a causa de la correntada en los ríos. La falta de verticalidad nos lleva a medir una profundidad mayor a la real, y donde la magnitud del error, jamás podremos llegar a conocerlo.

2.2.4. Ecosondas

Cuando los levantamientos son de gran extensión, se requiere la captura de una gran cantidad de puntos, las profundidades superan los 20 o 30 m, los ríos son de mucha correntada, o es en mar abierto, entonces se hace necesario el empleo de ecosondas.

El principio en que se basa el ecosonda, es el mismo empleado por el radar, es decir mide el tiempo en que tarda una onda acústica entre que fue emitida y se recibe el eco.

La velocidad de propagación de una onda sonora en el agua es de 1440 m/seg., muy lento si se lo compara con la velocidad de la luz, es por ello que en estos casos, a diferencia de los distanciómetros podemos medir el tiempo y calcular la distancia.

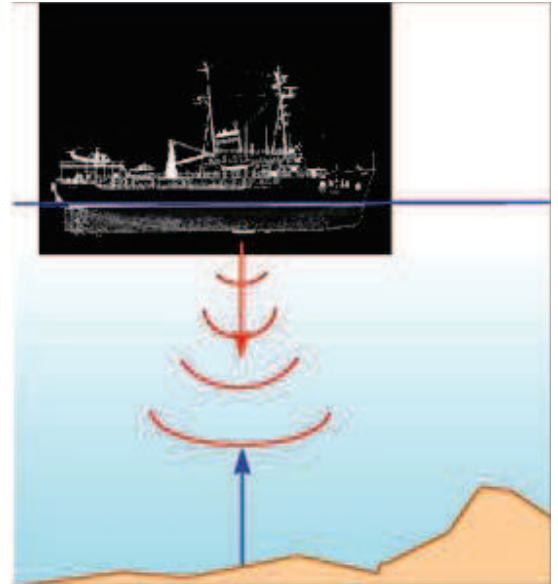
Pero, al igual que los distanciómetros, estos equipos se encuentran calibrados con valores medios, por lo tanto antes de realizar nuestras observaciones debemos introducir como dato la verdadera velocidad del sonido en el agua.

La velocidad de la luz puede medirse en forma directa a través de un equipo de ultrasonido. O introducir al ecosonda las correcciones de temperatura, altura media (presión hidráulica), y salinidad del agua, medidos a través de sensores.

La velocidad de propagación del sonido en el Río de La plata y en el Río Paraná es muy cercana a 1500 m/seg.

Hoy en día existe en el mercado una amplia gama de equipos, que van:

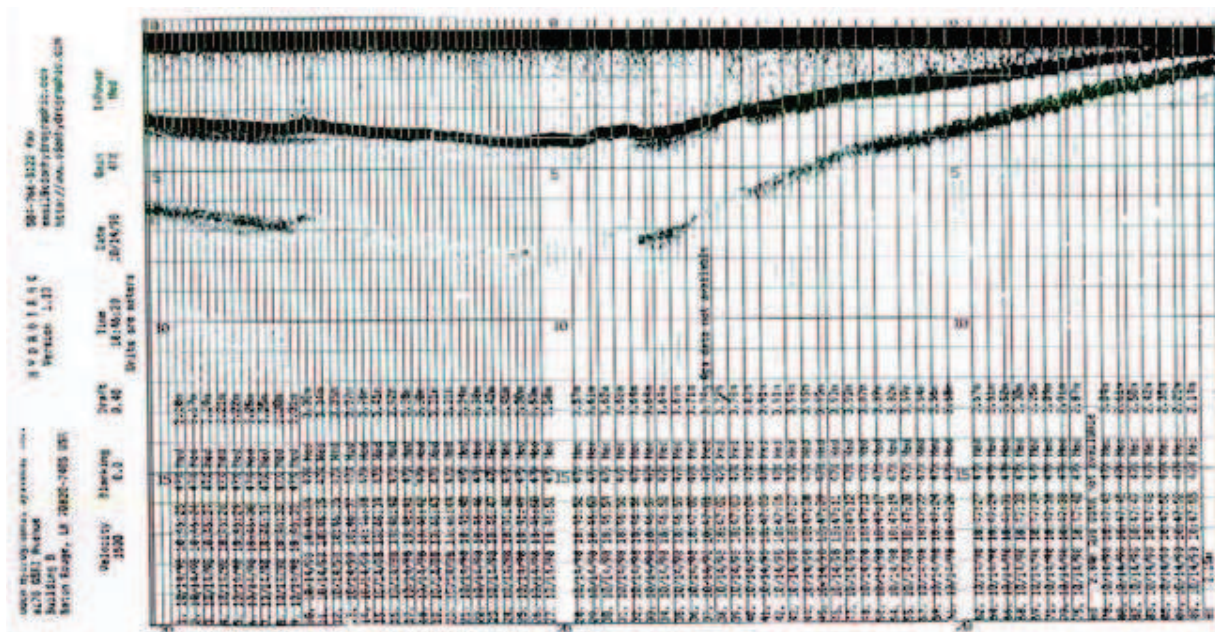
1. Desde los más pequeños y portátiles, de muy bajo costo, destinado principalmente a los pescadores, a fin que estos puedan detectar la presencia de cardúmenes y bancos de arena.
2. Los equipos medianos también portátiles, de frecuencia variable y cuyo fin es la determinación de sondeos desde 3 m hasta profundidades de apróx. 200m - 300m.
3. Hasta los equipos llamados grandes, (de muy alta frecuencia) y que se instalan de



modo permanente en un barco oceanográfico. Con estos equipos se pueden alcanzar hasta 12Km o 15Km. de profundidad.

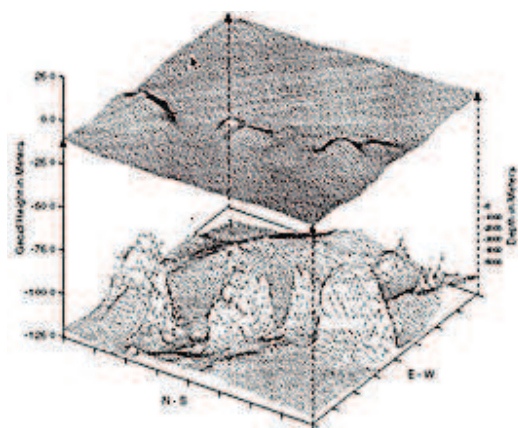
La forma de representación del modelo relevado es muy variado dependiendo de la calidad del instrumento.

- Algunos ecosonda sólo muestran un perfil sobre una pantalla de video.
- Otros sólo determinan, y muestran sobre un display, la profundidad medida sobre la dirección vertical.
- Otros solo permiten graficar el “eco-grama”, sobre un soporte papel
- La mayoría de los equipos actuales son digitales, permiten obtener el “eco-grama” en soporte papel y además, bajar todos los datos (N° del punto -DGPS y profundidad) a una Notebook, en un archivo en extensión ASCII.

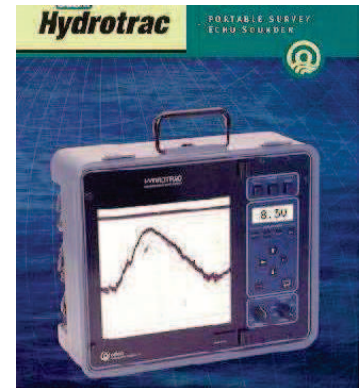


Ecograma

Otros, ya muy avanzados tecnológicamente, permiten levantar perfiles transversales en forma continua de una faja de ancho variable, y poseen el software necesario para generar un modelo digital del fondo marino, también tienen salida por pantalla, a un archivo y a un ploter.



Entre los equipos medianos, existe un sin número de marcas y modelos, y de distintos orígenes, uno de ellos es el HYDROTRACK de Odom.



Otro instrumento mediano, el más conocido a nivel mundial es el de la firma ATLAS-DESO, con el cual se puede también trabajar en las 3 frecuencias.: 15 Khz, para muy poca profundidad o fondos rocosos. 33 Khz para fondos duros o semiduros y profundidades medias. Y 210 Khz para fondos blandos (fangosos) o muy profundos. Este equipo permite relevar entre 8 y 20 datos de profundidad por segundo, o setearlo para que a velocidad constante levante un punto cada 30 cm.-

2.3. Precisiones de los sondeos

Al tener en cuenta la exactitud de los resultados no debemos olvidar que el error en la determinación del sondeo, dependerá del método de medición:

varillas: 1: 50 a 1: 200 en lagos, esteros, bañados pocos profundos.

sogas o cintas graduadas de fibra de vidrio:

- 10 a 1: 50 en el caso de ríos torrentosos y mar movido.
- 50 a 1: 100 en el caso de lagos, lagunas y mar calmo.

Ecosonda: Empleando ecosondas, la exactitud dependerá de dos factores:

- de los errores causados por los movimientos de la lancha
- de la calidad del equipo

2.3.1. Causas de errores en las ecosondas ³

Movimiento de la lancha

Cuando el sondeo se realiza con ecosonda, la principal fuente de error es el viento, el cual origina olas y estas a su vez transmiten una serie de movimientos al bote, lancha, o barco batimétrico, que causa los siguientes errores:

³ Escrito por el Agim.F.Fontella. Topometría y Microgeodesia. Ing. Agrim. A. del Bianco. Dpto. FCEyN - UNC

Heave: Es la afectación que sufre el barco por efecto de las ondas, y el resultado es un movimiento vertical. Si este meneo supera determinada altura, ésta altera los valores de la profundidad y se hace necesario suspender el relevamiento.

Pitch: Es el cabeceo que se produce cada vez que el barco enfrenta una ola, éste primero levanta la proa y luego la popa, (como un sube y baja), este movimiento depende de la amplitud de la ola, prácticamente no tiene influencia cuando aumenta la frecuencia ya que de esa forma disminuye la amplitud.

Es fuente de errores, pero puede ser compensado en algunos tipos de sonda y ciertos tipos de barcos batimétricos, muy avanzados tecnológicamente.

Roll: Es el movimiento de giro incompleto que efectúa el barco sobre su eje principal, cuando las olas inciden de costado, el barco se inclina a babor y estribor alternativamente, este movimiento es fuente de error permanente. Aumenta el error cuando el rolido es más pronunciado y no hay manera de compensarlo, pasada determinada intensidad se debe suspender el levantamiento.

El término **Draft**, es la distancia vertical entre la superficie del pelo de agua y la posición que ocupa el **transductor** en el casco de la lancha.

Todas las sondas modernas, nos permiten ajustar el draft para cada caso, con el objeto de determinar directamente la profundidad desde el pelo del agua.

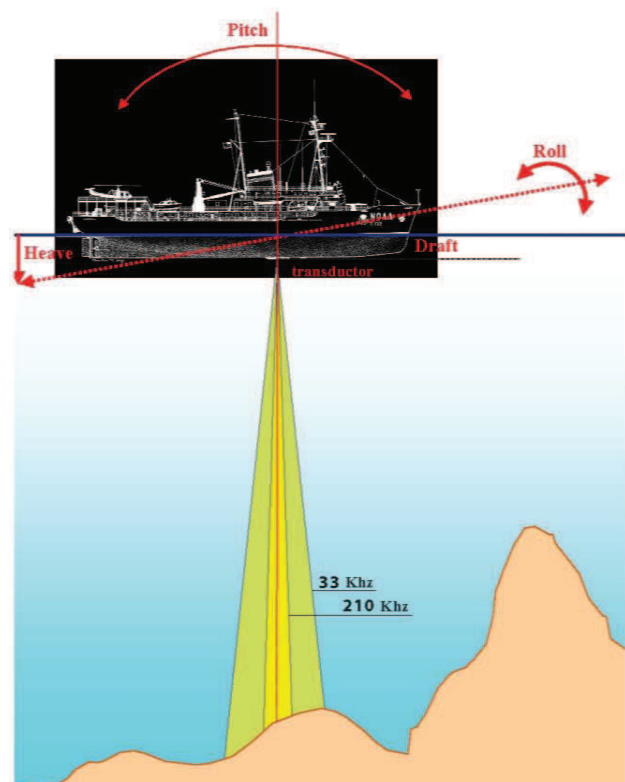
Calidad del equipo

A mayor frecuencia de emisión, menor amplitud del cono de sonido, menor posibilidad de interferencias y por lo tanto mayor precisión.

50 a 1: 100 en los equipos chicos..... Frecuencia: 15 Khz.

200 a 1: 500 en los equipos medianos..... Frecuencia: 33 Khz.

2500 o mayor precisión: en los de alta frecuencia y sondeos de gran profundidad. Frecuencia: 210 Khz.



3. DETERMINACIÓN DE LA POSICIÓN PLANIMÉTRICA

Los métodos que podemos emplear en la determinación de la posición planimétrica de los puntos sondeados, no difiere casi en nada de lo que ya hemos visto en los levantamientos terrestres:

- Areales o superficiales
- G.P.S.
- Perfilometría
- Híbridos

3.1. Areales o superficiales

Recordemos cuales eran los métodos de los levantamientos superficiales:

- Cuadrícula
- Polar: Medición con cinta-Taquimetría clásica -Taquimetría electrónica
- Bisección (intersección hacia delante)
- Libre estacionamiento (intersección Inversa)

Veremos que podemos aplicar los mismos métodos, con la sola excepción que no podemos emplear la cuadrícula, ya que como resulta obvio, es imposible materializar mediante estacas numeradas una cuadrícula en el agua.³

3.1.1. Método polar

El método de levantamiento polar o taquimetría, es el método de levantamiento ideal combinado con un muestreo estratificado, sin embargo habíamos mencionado sobre la necesidad de disponer información previa de la zona a estudiar, es decir un buen croquis demarcando áreas delimitadas por colectoras y dorsales.

En nuestros levantamientos hidrográficos, no disponemos del croquis previo debido a que no es posible observar directamente la superficie a relevar.

Algunas veces, se nos encarga un levantamiento de una zona cuya mayor parte queda visible durante la baja mar, pero su inaccesibilidad (lodazal, cangrejal), nos impide realizar el trabajo en forma directa como si fuese un levantamiento terrestre, por ende debe ser encarado como un levantamiento batimétrico.

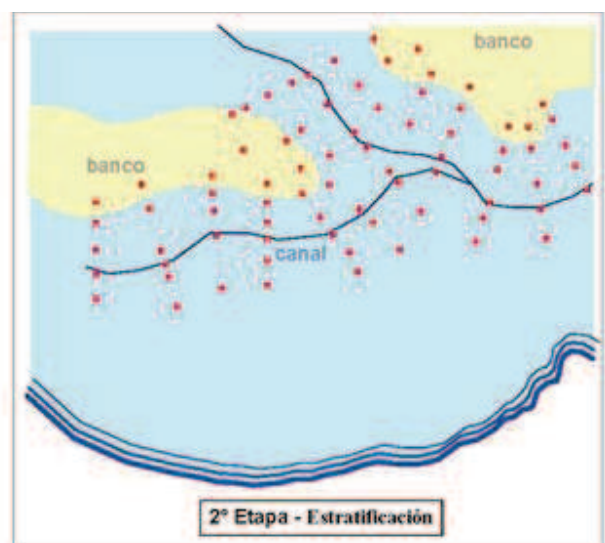
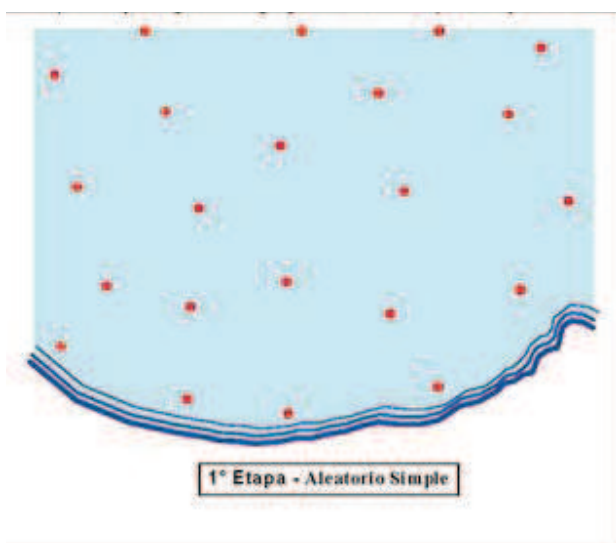


En estos casos, una fotografía tomada desde una avioneta, es de gran utilidad para confeccionar el mapa previo de trabajo, determinando con un buen grado de aproximación la posición del canal principal de navegación, los canales secundarios, las restingas, los

bancos de arena, etc. (Restinga: Lengua de coral o de piedra, situada por debajo del nivel del agua y a poca profundidad.)

Cuando esto no es posible, porque el levantamiento se trata del lecho de un río (por ejemplo), podemos proceder en dos etapas:

- Primero realizamos un levantamiento aplicando un muestreo aleatorio simple, tratando en lo posible de distribuir las observaciones lo más uniforme posible, del análisis de las profundidades de este levantamiento previo, surgirá la planificación del muestreo estratificado a ser ejecutado en una segunda etapa.
- Segunda etapa: Realización de un muestreo estratificado en base a croquis elaborado



Recordemos que un modo de medir la magnitud del vector, era mediante una ruleta o cinta de agrimensor, pues en los levantamientos polares batimétricos, por una razón lógica debemos descartar el empleo de cintas.

Taquimetría Clásica

Cuando los levantamientos son realizados en aguas muy poco profundas y sin corrientadas, recordemos lo que antes ya se dijo, que el levantamiento puede llevarse a cabo empleando una taquimetría clásica.

El levantamiento se realiza en forma polar, desde una estación de coordenadas y cota conocidas, la posición planimétrica se determina midiendo el rumbo y las distancias de forma estadimétrica. La cota se define directamente tomando los desniveles de forma simultánea sobre una mira apoyada sobre el lecho del río o del bañado.

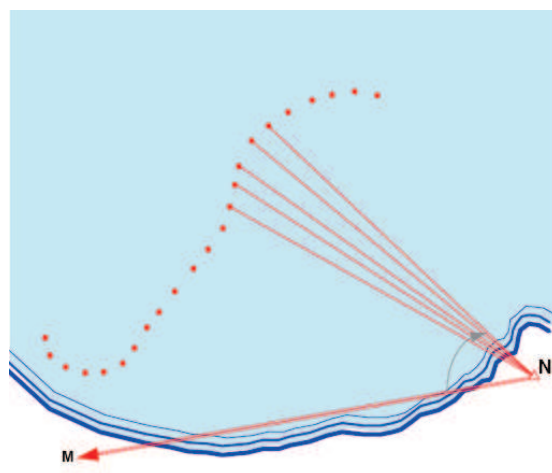


Este modo de trabajo no puede ser aplicado cuando el levantamiento es en aguas más profundas, y resulte necesario el empleo de un bote, a menos que la superficie del agua se encuentre en reposo absoluto, de otro modo el permanente movimiento de la lancha causado por las olas, haría imposible la pretensión de realizar un corte de mira, como así también intentar mantener durante un tiempo la mira en la dirección vertical y apuntada hacia el anteojo



Taquimetría electrónica

Estacionados con el distanciómetro o la estación total sobre uno de los puntos del sistema de apoyo, se va siguiendo el movimiento de la lancha apuntando permanentemente el paquete de prismas ubicados en el mástil con el tornillo de movimientos lentos. En el preciso instante en que se efectúa el sondeo, el operador que se encuentra en la lancha lo comunica a través de un "top" transmitido por la radio o a través de una señal luminosa. En ese momento el operador en tierra detiene el movimiento horizontal del instrumento, y realiza la medición angular y de la distancia.



Si está operando una estación total lee o graba las coordenadas X e Y del punto observado.

En los levantamientos de gran extensión en el mar, conviene medir las distancias empleando un distanciómetro de onda corta de radio, ya que con el distanciómetro electro óptico se hace muy dificultoso poder realizar las mediciones debido a la cotidiana presencia de bruma.

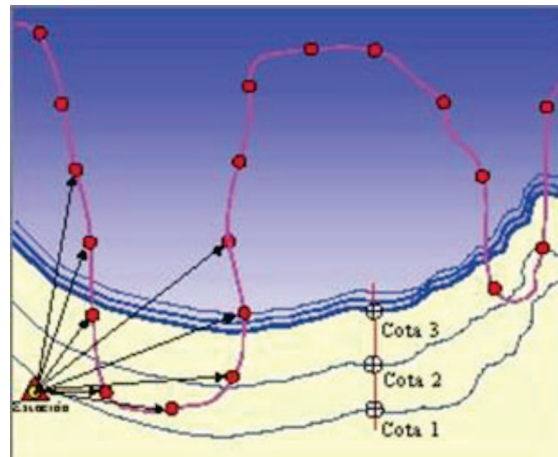
En los casos en que pueda emplearse los distanciómetros electro ópticos, se hace necesario reemplazar los prismas comunes por prismas cilíndricos especiales 360° o por un paquete de prismas en forma de cilindro; ya que debido al continuo movimiento de la lancha es muy difícil poder mantener los espejos apuntando permanentemente en la dirección del operador



A fin de controlar o revisar luego en gabinete, las mediciones efectuadas desde la estación terrestre con los sondeos, es fundamental registrar la hora en cada observación.

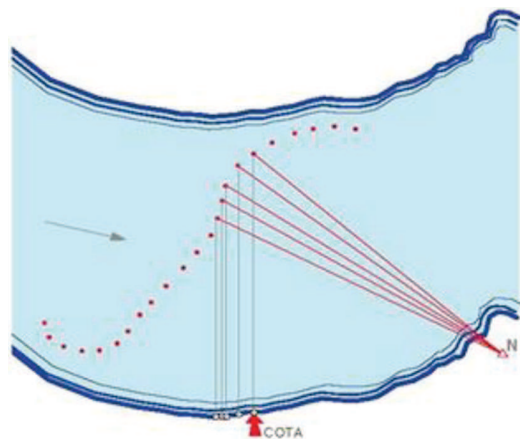
Determinación de la Cota del “pelo de agua”

Si el levantamiento polar se realiza en el mar, mientras un operador ejecuta el sondeo en la lancha, simultáneamente otro operador mide los vectores desde la estación terrestre, mientras que un tercer operador llevará adelante las observaciones de las cotas del pelo del agua, para tal fin, éste elegirá el lugar que más cómodo encuentre sobre la costa. Los tres operadores registran lectura de la hora en cada observación.

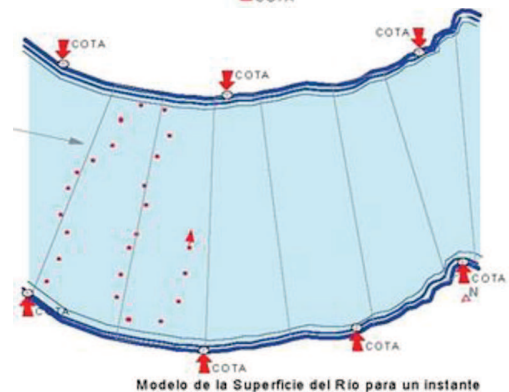


Si el levantamiento es muy extenso, o si se repite periódicamente, conviene emplear un mareógrafo digital a tiempo real. Es necesario destacar, que si estos levantamientos se llevan a cabo en ciudades porteñas muy importantes, tales como Mar del Plata, Puerto Madrin, Ushuaia; podemos informarnos sobre la existencia de mareógrafos en actividad, sean estos oficiales, o de empresas privadas que ofrezcan este servicio, y que nos brinden la posibilidad de obtener los datos a tiempo real o poderlos bajar desde una página Web.

Si el levantamiento se desarrolla en un río, ya sabemos que deberíamos observar la cota del pelo del agua en el sentido transversal, esto quitaría velocidad al método ya que deberíamos determinar la cota exactamente enfrentada a cada punto sondeado. Esta manera de proceder produciría un desfase entre el operador de la lancha y los mireros que toman la cota del pelo de agua, que seguramente se desplazarán a pie o a caballo. A fin de aumentar la velocidad de trabajo, conviene, tal como lo hicimos en las lagunas, generar un modelo temporal de curvas de nivel, representativo del relieve de la superficie del líquido.



Para ello planificamos el recorrido de la lancha para que esta siempre avance en una dirección (hacia aguas abajo), y observamos la cota del pelo del agua en algunos puntos costeros, avanzando con las determinaciones en la misma dirección que el avance del sondeo, intentando una cierta simultaneidad entre ambas operaciones. Finalmente la cota de la superficie de referencia auxiliar (P_a), en cada punto, surgirá de una interpolación de las curvas (rectas en este caso) del modelo digital de la superficie del agua.



Cuando los levantamientos hidrográficos involucra ríos de montaña, donde hay sectores de remansos y sectores con rápidos, las cotas del pelo del agua deberán tomarse frente a cada cambio de pendientes.

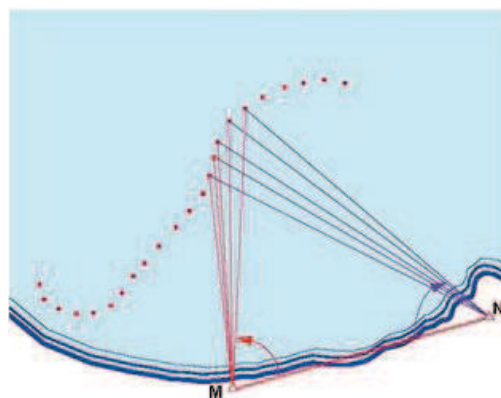
De igual manera que para el caso de las mediciones marinas, en las vías navegables, cuando los levantamientos son reiterados, nos referimos a un hidrómetro digital.

3.1.2. Bisección

La bisección es sin lugar a dudas el método tradicional más empleado debido a su simplicidad, economía y rapidez operacional, se requiere de dos teodolitos operando simultáneamente sobre dos puntos del Sistema de Apoyo terrestre.

Ambos operadores siguen continuamente con los tornillos de movimientos lentos de las alidadas de sus aparatos, un punto notable y bien visible de la lancha que efectúa el recorrido y los sondeos, bisectando el mástil, un jalón, una señal, etc.

Al efectuarse el sondeo ambos operadores reciben el "top" desde una radio o una señal luminosa, y en ese preciso instante detienen los movimientos de la alidada, y cada operador registra el rumbo y la hora.



Este método resulta mucho más práctico cuando se emplea colectora electrónica de datos. Para la determinación de la cota del pelo de agua, valen todos los comentarios ya realizados para el método polar.-

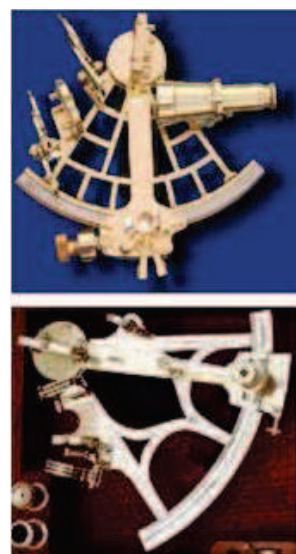
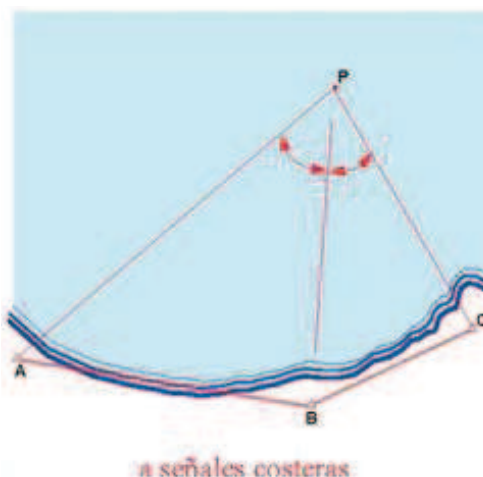
3.1.3. Libre estacionamiento (Intersección Inversa)

Se pueden plantear tres casos:

Medición de ángulos. Estacionados en el punto cuyas coordenadas se desean determinar y medir dos ángulos a tres puntos visualmente dominantes de la costa, cuyas coordenadas se conocen.

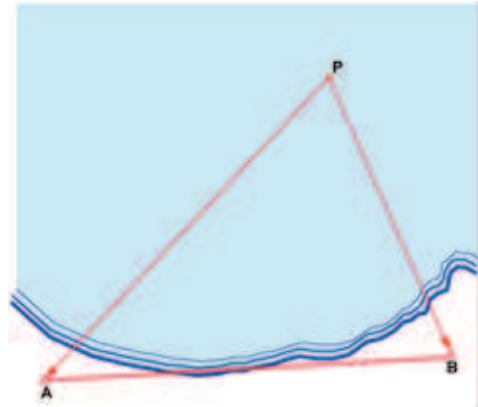
Esta forma de proceder resulta inaplicable, ya que es imposible poder estacionar y verticalizar un teodolito sobre un bote o una lancha.

Este método fue muy utilizado en la antigüedad empleando los sextantes.



Medición de distancias. Otra manera de determinar las coordenadas de un punto, estando estacionado sobre el mismo, es determinar las distancias a dos puntos de la costa cuyas coordenadas se conocen. Este método puede ser resuelto empleando un distanciómetro de ondas de radio (onda corta).

Es muy usado en los levantamientos que realizan los Servicios de Costas que permanentemente controlan los canales de navegación y el movimiento de los bancos de arena. Conjuntamente el sonar envía una señal acústica a fin de realizar el sondeo, se emite una señal de onda corta que es devuelta por dos estaciones costeras



Los sistemas de navegación que usan tales señales de radio, para medir las distancias a varias torres transmisoras localizando puntos conocidos, se llaman **sistemas de navegación por radio**.

El sistema de navegación por radio más difundido mundialmente recibe el nombre de LORAN (LONG RANGE Navigation). Siglas de navegación de largo alcance, se puso en operaciones alrededor del año 1950.

Cada cadena de LORAN consiste en por lo menos cuatro transmisores, y típicamente cubre áreas de aproximadamente 750Km de radio.

Para mantener la cobertura en áreas más grandes, se emplean simultáneamente varias cadenas de LORAN. Por ejemplo: dos sistemas LORAN cubren la Costa Oriental de los Estados Unidos.

Cada cadena LORAN de transmisión, emite las señales en una frecuencia propia. Un receptor LORAN ubicado en la cabina de mando de una nave, sintoniza a las señales de radio de los transmisores de la cadena, mide las distancias a ellos, y calcula instantáneamente la posición del receptor.



En los sistemas LORAN, la posición de las torres transmisoras son fijas, y exactamente conocidas, y se almacena previamente en la base de datos de los receptores. En un viaje en avión, uno puede atravesar varias cadenas LORAN. Luego, el navegante necesita saber y sintonizar la frecuencia de cada cadena LORAN que él se encuentra atravesando; de la misma manera que uno necesita cambiar la frecuencia de una radio FM, cuando se

abandona el área de cobertura de una FM y se encuentra entrando en el área de cobertura de otra estación FM. Las cadenas LORAN son operados por los gobiernos locales y generalmente se sitúan cerca de áreas costeras que es el lugar de más alto volumen de tráfico marítimo y aéreo. Aunque LORAN fue un adelanto importantísimo para la navegación marítima y aérea, tiene las siguientes deficiencias:

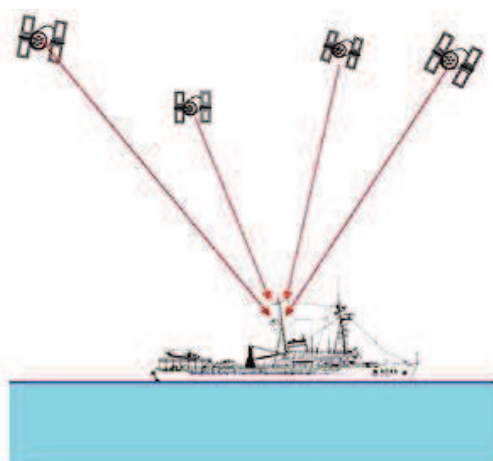
- El sistema operativo y completo LORAN alrededor del mundo, sólo alcanza a cubrir una pequeña porción de la tierra, la cobertura total se limita aproximadamente a un 5% de la superficie de la tierra. No es un sistema de navegación global
- Los transmisores LORAN envían señales a lo largo de la superficie de la tierra y pueden por lo tanto proveer solamente una posición bidimensional (latitud y longitud). No puede proporcionar información sobre la altura, por ejemplo, no puede usarse en la aviación para proveer altura.
- En general, la exactitud de LORAN solo es buena en un entorno de 250 metros.

Medición de distancias. Posicionamiento con GPS

Dentro de las mediciones que agrupamos como “intersección inversa” hemos incluido los posicionamientos satelitarios (GPS), ya que el equipo de medición se encuentra sobre el punto que se desea conocer su posición, y como ya sabemos resuelve la intersección inversa midiendo la distancia (o la pseudo distancia) a cuatro satélites de posición instantánea conocida.

Conforme la exactitud que se persiga se definirá si la determinación puede ser realizada en forma puntual con un solo equipo, mediante el empleo el empleo de DGPS con radio faro, o estación de base virtual; o si será necesario realizar una determinación diferencial con dos equipos operando en forma simultánea, uno (base) estación costera de coordenadas conocidas y el rover sobre la nave.

En los levantamientos marítimos midiendo con la fase, hasta una distancia de 15 km de la costa podemos pensar en emplear GPS diferencial en L1, hasta 200km de la misma ya deberíamos pensar en un equipo dual, mientras que en los levantamientos y posicionamientos a mar abierto, es decir más de 200Km de la costa, ya solamente nos queda la posibilidad del empleo del código y DGPS de base virtual. De igual modo, si deseamos obtener la posición planimétrica a tiempo real, con un equipo de simple frecuencia no podemos alejarnos mas allá de los 10Km, con doble frecuencia y radio faro nos extendemos hasta los 150Km., mientras que con DGPS de base virtual, el radio es prácticamente ilimitado. Sin embargo, hay que tener presente que en las determinaciones



de mar abierto, con la precisión planimétrica que se logra en los posicionamientos absolutos (sin S/A) es suficiente.

En modo diferencial, de los métodos de medición con GPS, el único que puede ser utilizado es el dinámico, ya que a causa del continuo movimiento del bote no puede pensarse en realizar un método estático, fast static, stop and go o reocupación.-En el método dinámico, podemos realizar la medición con código o con fase. Utilizando la primera técnica estaríamos determinando la posición planimétrica en un entorno de 2 a 5m., lo cual para la generalidad de los trabajos es una precisión aceptable, imaginemos un punto en mar abierto o en el Río de la Plata, en un radio de 3m. -no cambia la cota del lecho -. Por el contrario, 3 m de error en el río Suquía sería una barbaridad.

Midiendo la diferencia de fase, dependiendo del equipo y de la distancia del vector, el punto podrá estar posicionado en un entorno de 3 a 5cm, precisión innecesaria en los levantamientos hidrográficos.

Siempre es conveniente trabajar a tiempo real, ya que de ese modo se puede combinar la observación GPS con la ecosonda y eventualmente con el radar.

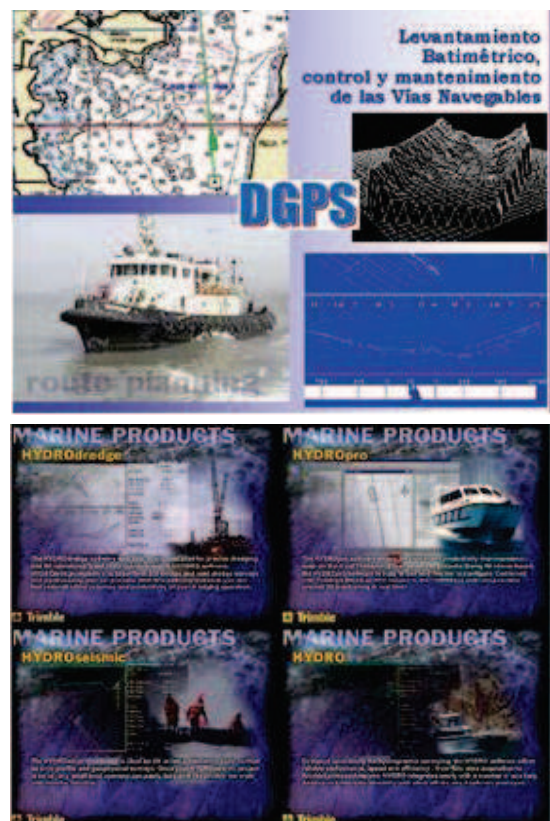
3.2. Navegación precisa con GPS

Exponemos aquí tan solo un ejemplo de los cientos que podríamos mencionar del sistema DGPS empleado en la navegación precisa, el software “Hydro“

Tal sea el caso de un **barco sonda**, que debe recorrer y relevar periódicamente el fondo marino o el lecho de un río, a fin de poder determinar el estado de embanque de los canales de navegación.

Para ello combina el posicionamiento GPS con la perfilometría, todos los días replantea la posición planimétrica y releva los mismos perfiles transversales. Y dado la particularidad de tratarse de perfiles dibujados sobre el agua, su continuo replanteo sería imposible de no contar con la técnica de la navegación precisa.

En croquis mostramos algunos módulos del programa “Hydro“ que sin dudas alguna es el software comercial más completo y más utilizado en todo el mundo.

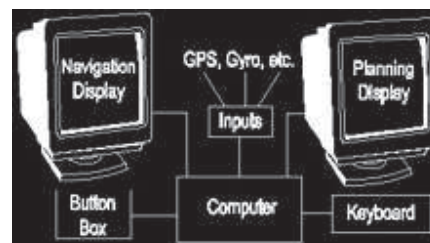


Este software fue elaborado entre las dos grandes empresas TRIMBLE de GPS y ATLASDECO, la empresa de mayor venta de ecosondas en todo el mundo.

Permite la bajada de datos simultáneas del DGPS, la ecosonda, el radar y LORAN si hubiere.

Registra y procesa los datos y permite realizar perfiles, modelos digitales del lecho del río, procesa dos MDT en forma simultánea, calcula volúmenes de extracción de embanques y además puede realizar un mapeo electrónico continuo.

La gran mayoría de los software desarrollados para las mediciones hidrográficas, tienen una amplia versatilidad. Combinan la medición del sonar para la determinación del sondeo, con el DGPS para la determinación de la posición planimétrica, y con el radar a fin de poder navegar de noche, o con niebla muy cerrada.



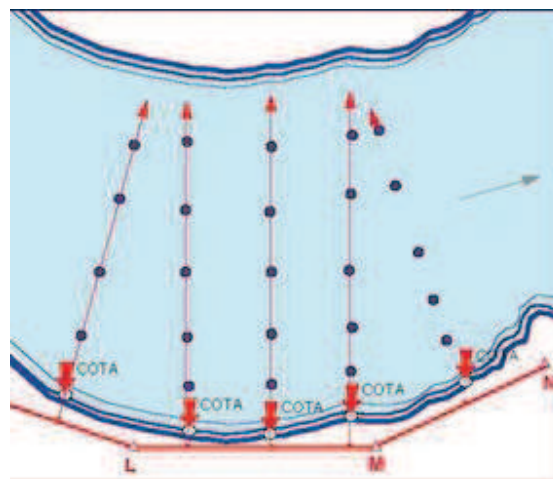
3.3. Perfilometría

Este es un método que en la gran mayoría de los casos se aplica en los levantamientos batimétricos de Ríos, muy difícilmente sea empleado en el mar.-

Se materializa una poligonal de apoyo sobre la costa, siguiendo la forma de la misma, sobre sus lados se ubican los piquetes espaciados conforme la densificación necesaria. Desde estos puntos se levantarán luego los perfiles transversales.

La poligonal de apoyo, deberá copiar la línea quebrada que represente el eje del río, esto tiene por objeto que al replantear los perfiles transversales perpendiculares al sistema de apoyo, lo sean también al eje del río.

Debido a que la distancia no podrá ser medida con cinta, y tampoco estadimétricamente, la única forma posible de medir la distancia a los puntos sondeados es con distanciómetro o estación total.



El modo de operar es el siguiente:

1. El operador estaciona la estación total en cada uno de los piquetes, apuntando hacia el vértice del sistema de apoyo más lejano, levanta una perpendicular.
2. La posición de la lancha es alineada desde la estación y en cada sondeo, se mide la progresiva desde el piquete.
3. Otro mirero mientras tanto, con un prisma toma la cota del pelo del agua sobre la misma alineación. Sería muy conveniente (si fuese posible) que simultáneamente otro mirero se

desplazara con otro prisma sobre la costa enfrentada a fin de tener en cada perfil transversal, dos cotas del pelo del agua.

Aunque el método de levantar perfiles es más lento que los levantamientos superficiales, su empleo es más conveniente en la mayoría de los casos, pues cuando en las costas no hay construcciones o edificios, es muy difícil tomar puntos de referencia para ubicarse desde la lancha, y se corre el riesgo de no tomar los puntos distribuidos uniformemente o convenientemente en los lugares planificados.

Por otra parte, de esta forma nos aseguramos que el nivel tomado del pelo del agua, en todos casos coincide exactamente con la dirección transversal al río, lo cual es la condición que nos debemos plantear.



3.4. Métodos Híbridos

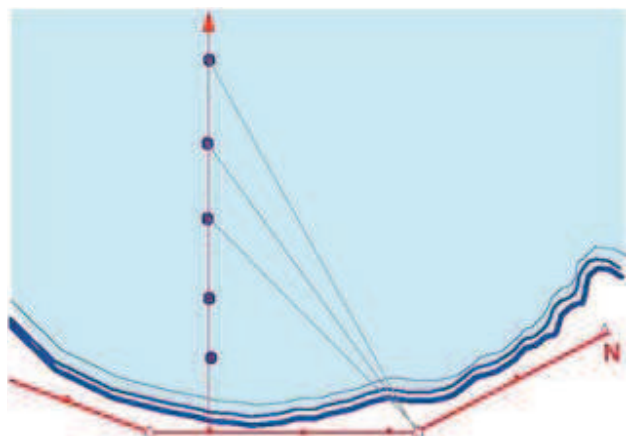
En numerosas oportunidades se combinan los métodos a fin de aumentar la velocidad, la seguridad o para aprovechar el uso del instrumental que uno dispone.

Por ejemplo:

I.- Perfil Transversal levantado por bisección con dos teodolitos.

De esta forma aprovechamos las ventajas del perfil transversal, con la sencillez de la bisección.

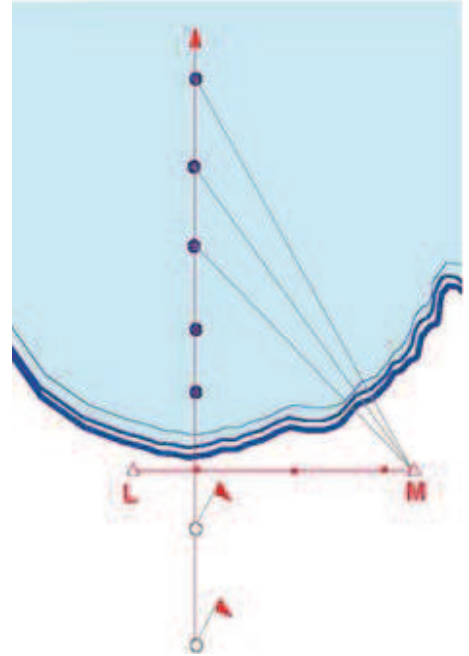
- Un teodolito se estaciona sobre el piquete, levanta la perpendicular y se encarga de alinear el bote que realizará el sondeo.
- El otro teodolito se estaciona sobre un vértice del sistema de apoyo y es quien realiza la intersección en el instante del sondeo.
- Posteriormente en gabinete se calculan las distancias progresivas de los puntos observados al piquete, la cual será el cateto de un triángulo rectángulo



II.- Perfil Transversal levantado por intersección hacia delante con un solo teodolito.

Cuando se dispone de un solo instrumental, podemos trabajar de la siguiente forma:

- En una primera etapa nos estacionamos en cada uno de los piquetes y procedemos a materializar la alineación con dos jalones en caso de ser un río angosto. Si el río es ancho los jalones no se verán desde la otra orilla, por ello materializamos la línea con señales.
- Estas le servirán al timonel para alinear la lancha sobre la línea.
- En una segunda etapa, se ubica el teodolito en el vértice de la poligonal y se realiza la intersección (virtual) hacia adelante.

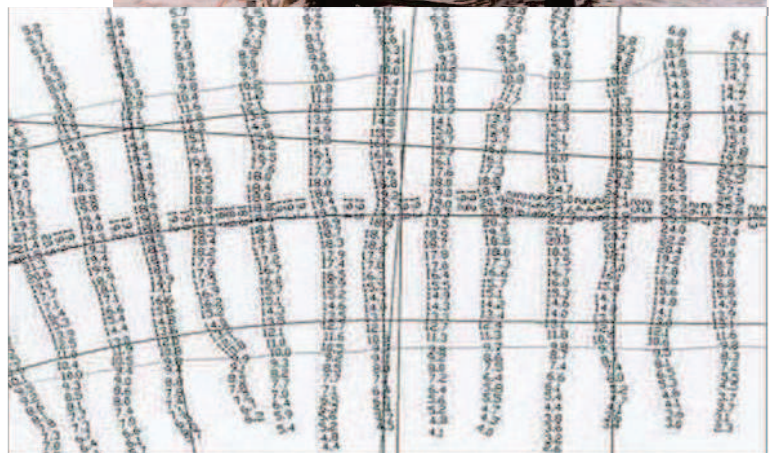


Lógicamente no puede pretenderse demasiada exactitud en la determinación de la posición del punto, ya que la alineación que realiza el timonel, lo hace a simple vista. Por otra parte, este método no conviene utilizarlo en ríos anchos pues al estar las señales colocadas en distintos niveles, desde el río es muy fácil confundirse y alinearse con dos señales de distintos perfiles.

III.- Perfil Transversal combinado con DGPS

Cuando las exactitudes planimétricas lo permiten (mejor que un metro), y el río no presenta discontinuidades en su cauce; el método ideal de levantamiento híbrido es Utilizando posicionamiento a tiempo real con DGPS en modo dinámico, conectado a un ecosonda de bajada de datos automática, y siguiendo el lineamiento de perfiles transversales

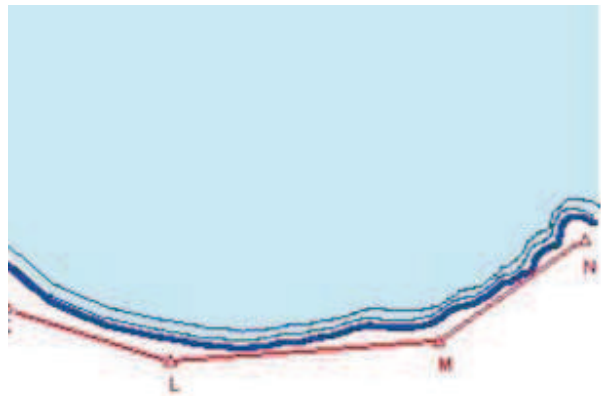
Levantamiento batimétrico realizado sobre el Río Pilcatero Sur, Río Paraná, 31 de Abril de 1999 utilizando DGPS Omnistar y ecosonda Atlas-Deso



3.5. Sistemas de Apoyo

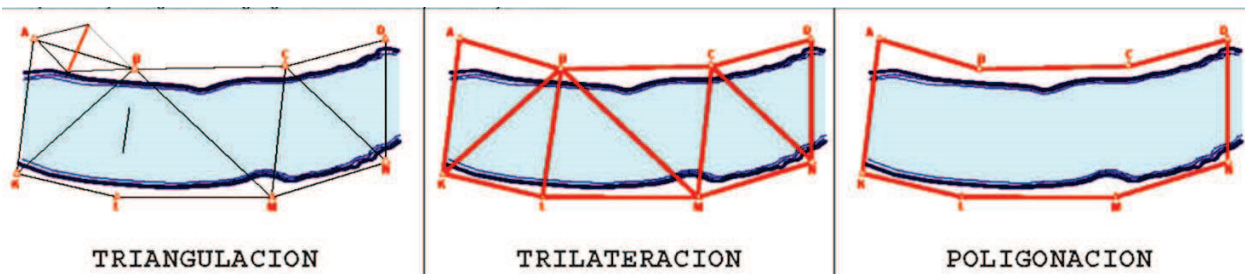
Cualquiera sea el método de levantamiento que se aplique, requiere de la planificación previa, monumentación, medición, cálculos y compensación de una red de apoyo horizontal y vertical.

En el caso de levantamientos en el mar, el sistema de apoyo más adecuado es la poligonal construida con puntos visualmente dominantes y lo más cercana a la costa posible



- La poligonal debería ser doblemente atada mediante dos puntos GPS, doblemente atada y orientada, o directamente una poligonal GPS. ▸
- La nivelación Diferencial.

En los levantamientos realizados en ríos, podemos emplear figuras cerradas como son los triángulos y las poligonales cerradas, colocando puntos fijos en ambas márgenes del Río, en las islas y/o sobre construcciones especiales. Siempre conviene que se tomen algunos puntos con GPS. Si se dispone permanentemente de éste equipo, en realidad lo que más conviene es colocar el rover sobre cada uno de los vértices.



Por comodidad conviene que los puntos fijos del sistema altimétrico coincida con la malla del sistema horizontal.

Se usará la nivelación Diferencial por las poligonales costeras, y nivelación trigonométrica simultánea y recíproca cuando la longitud del cruce del río, no nos permita el empleo de la geometría.

Estos puntos deberán ubicarse en lugares dominantes de la bahía o del río, en edificios o construcciones próximas a la costa, coronamiento de las barrancas, escolleras, espineles, gaviones, malecones, etc. En todos los casos lo suficientemente alejados de la línea de costa a fin de evitar su destrucción a causa de las crecidas de los ríos o de las mareas.

En los levantamientos que se emplea GPS para determinar la posición planimétrica de los sondeos, no se precisa de una red de apoyo, solo uno o un par de puntos de la red POSGAR para vincularse. Tampoco en los casos en que se emplea la técnica DGPS.

Cruce altimétrico de grandes ríos ⁴

1. INTRODUCCION

En nivelaciones de precisión se denomina "cruce altimétrico de un río" o simplemente "cruce o paso de río", a la determinación del desnivel entre ambas márgenes de un río o extensión de agua, cuyo ancho supera el límite permisible de longitud de visual y generalmente requiere operar, en la estación de cruce, con distancias de visual considerablemente desiguales. Constituye una operación separada e independiente de las nivelaciones que conducen las cotas hasta las orillas del río y se deberá recurrir a procedimientos especiales que faciliten la medición y neutralicen los efectos provocados por:

- la refracción atmosférica
- la curvatura terrestre
- los errores residuales del ajuste instrumental (horizontalidad del eje de colimación)

Los procedimientos conocidos, utilizados en el Instituto Geográfico Militar, coinciden en las siguientes consideraciones, básicamente formuladas en el "Manual de Geodesia" ("Handbuch der Vermessungskunde") de Jordan - Eggert - Kneissl:

Doble determinación del desnivel mediante observaciones simultáneas y recíprocas desde estaciones en ambas orillas, que se tratarán de ubicar en lugares con similares características topográficas y procurando que las visuales largas resulten de igual longitud, adyacentes y a la misma altura sobre el agua y terreno. Con ello las correcciones a los dos desniveles, en relación a la curvatura terrestre y la refracción "simétrica" (referida a una misma trayectoria de las visuales) resultan prácticamente iguales y desaparecen al formar el promedio aritmético (Fig. 1).

⁴ Comentarios sobre un método de medición que utiliza el Instituto geográfico militar. Agrim. Mario Ornstein. Ex personal Superior del I.G.M.

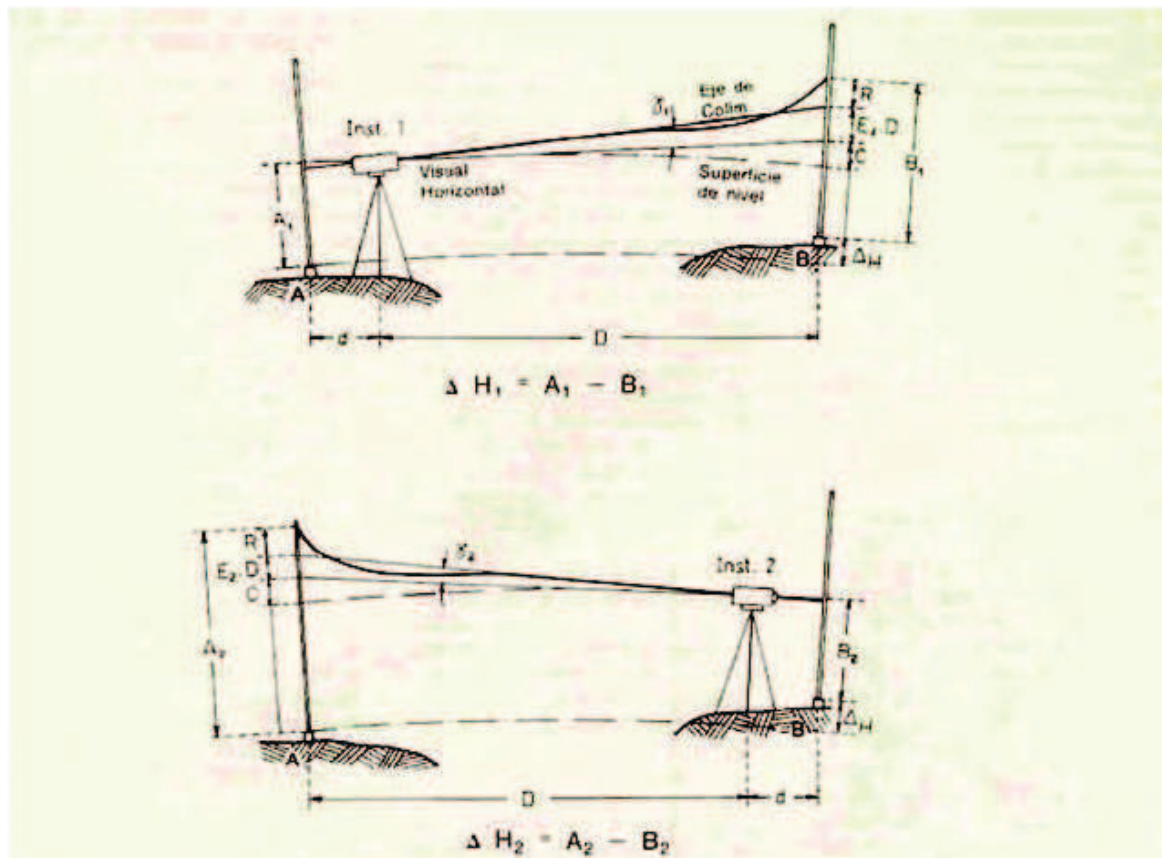


FIGURA 1: En el promedio, $\frac{|\Delta H_1| + |\Delta H_2|}{2}$ se

anulan los efectos de refracción simétrica R y de la curvatura terrestre C , pero solo parte de los efectos E de los errores residuales y de los instrumentos, se compensan.

Pero quedan los errores provenientes de una refracción "asimétrica" y los residuales del ajuste de los ejes visuales que son distintos para cada instrumento. Los primeros se pueden reducir reiterando las observaciones bajo diferentes condiciones meteorológicas, aplicando las correcciones correspondientes. Para limitar los efectos de los errores de ajuste se intercambian de orilla los instrumentos entre dos series de observaciones simultáneas, considerando que el estado de corrección no debe variar con motivo del tras-

lado y recomendándose no modificar el enfoque óptico de los anteojos por su incidencia en la posición del eje de colimación (W. Jordan, Tratado General de Topografía). Es en estas últimas consideraciones donde reside la mayor inseguridad de los distintos procedimientos que utilizan instrumentos convencionales, tanto los provistos con nivel tubular como los automáticos.

Con el equipo Zeiss para cruces de ríos, situando en cada orilla sobre una misma plataforma-base, dos niveles con horizontalización automática de

la visual (Modelo Ni2), provistos con el complemento llamado "cuña giratoria" que permite desviar la línea de visual dada por el sistema compensador, es posible reducir al mínimo el efecto de los inevitables errores residuales del ajuste instrumental.

En el presente artículo se comentan las principales características del mencionado complemento así como el concepto básico del método de medición y su aplicación en los trabajos del I.G.M.

La descripción integral del equipo, su uso y normas pormenorizadas referentes al desarrollo del proceso operativo se suministran en el Manual de Instrucciones del "Nivel Doble Zeiss", en el NOAA Manual NOS NGS 3 Geodetic Leveling y también en el Fascículo IV, Nivelación, de las Instrucciones Técnicas para los Trabajos de Campo (ITTC) del I.G.M.

2. EL COMPLEMENTO "CUÑA GIRATORIA" (NOAA, Manual NOS NGS 3, Geodetic Leveling 1984 y M. Drodofsky, 1960).

Este dispositivo que se ajusta al anteojo delante de su objetivo, contiene como elemento óptico principal una "cuña" o prisma triangular, girable alrededor de un eje paralelo al eje del instrumento (eje mecánico prácticamente coincidente con el óptico). Este prisma desvía la línea de visual un ángulo de $0^{\circ}04'17''$ ($257''$) en un plano perpendicular a la recta de intersección de sus dos caras principales, arista que en realidad no existe mate-

rialmente por la forma circular dada a las caras. En la posición de la cuña, cuya arista resultaría paralela al eje principal (vertical) del instrumento, la desviación se producirá totalmente en el plano "horizontal" del mismo, sin provocar inclinación vertical en la línea de visual (Fig. 2. a). Pero ésta se desviará horizontal y verticalmente si la cuña se encuentra girada en otra posición (Fig. 2. b y c). En el esquema 2.b, se representa en un plano perpendicular al eje del anteojo, el efecto de las desviaciones sin la cuña y estando el compensador en "cero", la visual intercepta al plano en el punto O. Montado el complemento, la visual se desvía el ángulo $\delta = 257''$ y llega al punto A, recorriendo éste una circunferencia alrededor de O, con el radio d, a medida que la cuña gira alrededor del eje del anteojo. A los efectos de las observaciones sólo interesa la desviación vertical $a = d \sin \omega$. Siendo

$a = x \sin \alpha$ y $d = x \sin 257''$, entonces el valor α de la desviación o inclinación vertical de la visual variará proporcionalmente

al ángulo de rotación ω de la cuña, según la siguiente relación:

$$\sin \alpha = \sin 257'' \times \sin \omega$$

Como la rotación ω puede alcanzar un valor máximo de $\pm 51^{\circ}06'$ (referida a la horizontal), la línea de visual podrá inclinarse uniformemente hasta $0^{\circ}03'20''$ ($\pm 200''$; 1/1000 de la distancia de visual), es decir tanto hacia arriba como hacia abajo de la dirección horizontal dada por el sistema compensador del instrumento. Las inclinaciones se leen en una escala que gira solidaria con la cuña y está graduada en unidades que representan incrementos del seno del ángulo de rotación ω . Para evitar dificultades con los signos algebraicos, el número 0 (cero) corresponde a la máxima inclinación hacia arriba; el número 10, a la posición central en que no hay desviación vertical y el 20 a la máxima inclinación hacia abajo. El sistema de lectura permite medir las inclinaciones estimando el centésimo de unidad y dado que cada unidad representa $20''$, el menor ángulo medible es $\pm 0''.2$ (0.000 001 rad.).

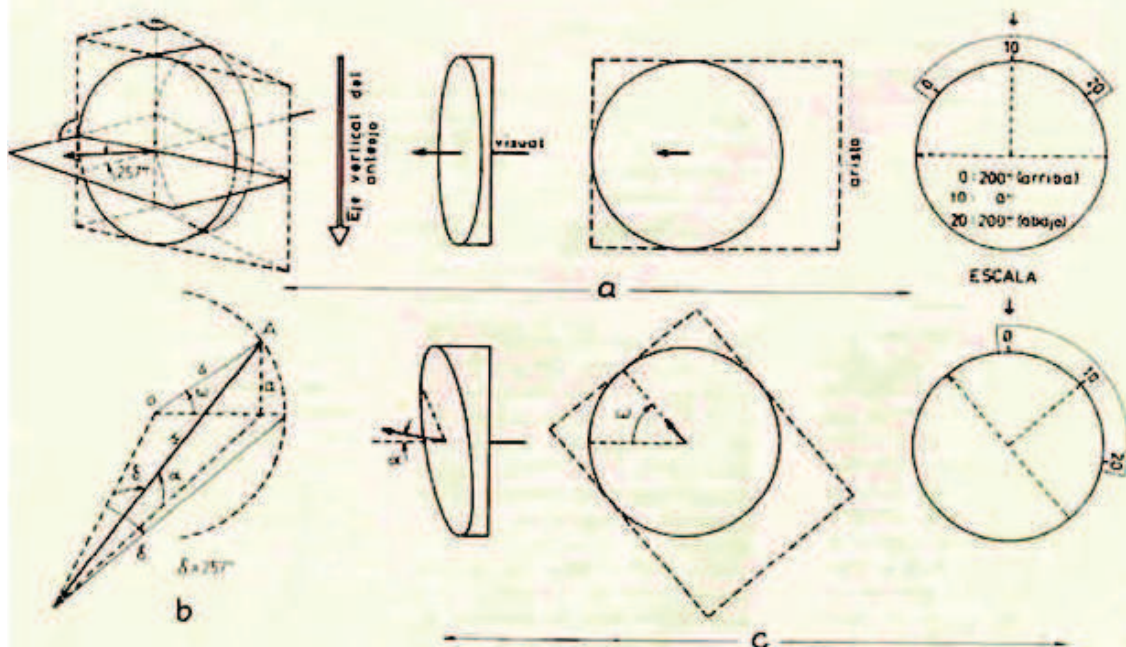
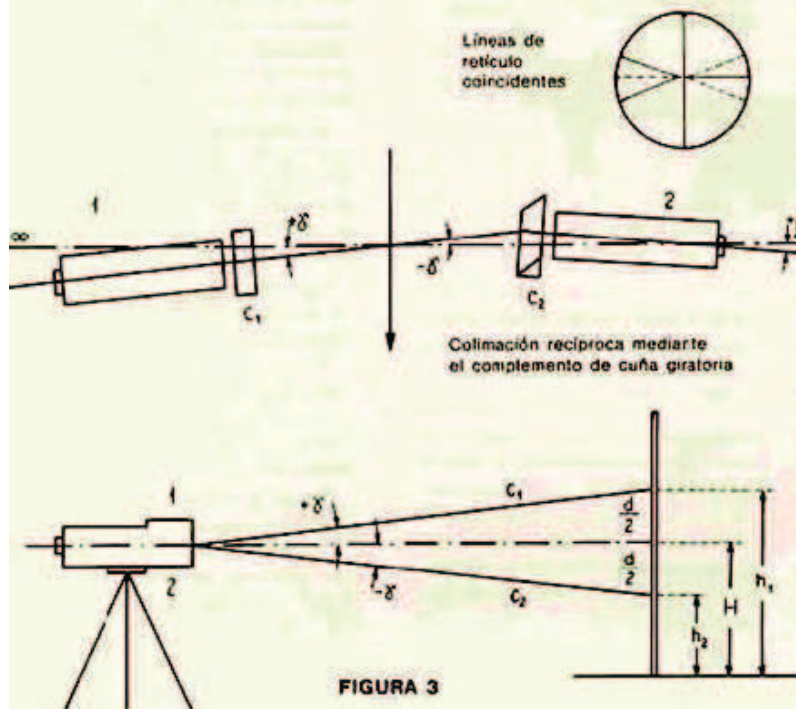


FIGURA 2: a: cuña en posición central (Escala en 0)
b y c: cuña girada.

3. CONCEPTO BASICO DEL METODO

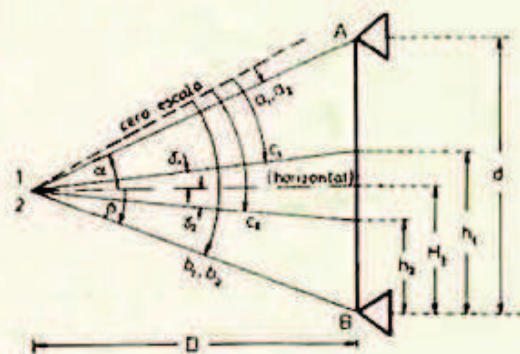
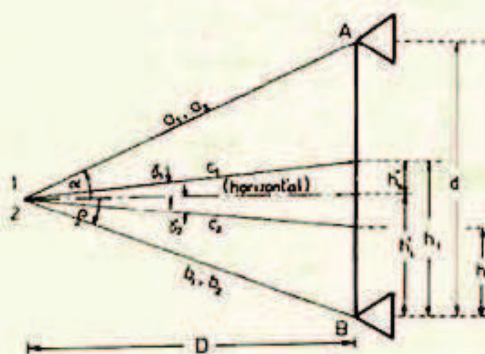
Enfrentados los dos niveles y colocados a igual altura sobre una de las plataformas-base, se llevan a "colimación recíproca" mediante el accionar de las cuñas giratorias, en otras palabras, el error residual de colimación de un instrumento puede ajustarse para que sea de igual valor pero opuesto al del otro. Entonces los ángulos de inclinación de ambas visuales serán iguales pero de distinto signo: un anteojo apuntará hacia arriba con respecto a la dirección horizontal, como el otro lo hará hacia abajo de ella. Dado que la inclinación graduada es conservada por el sistema compensador de cada instrumento, sería posible dirigirlos hacia una mira colocada sobre un punto, leer directamente los valores h_1 , h_2 y la media aritmética daría la altura h sobre dicho punto, correspondiente a una visual horizontal que estaría exenta de errores residuales de ajuste (Fig. 3).



Cuando las visuales son muy largas, como suele ocurrir en un cruce de río, no es posible observar con precisión sobre una mira convencional colocada en la orilla opuesta, por cuya razón se la reemplaza por un

par de tablillas-señal, entre las cuales se conoce su distancia. En las figuras 4 y 5, se designan con c_1 y c_2 las inclinaciones leídas en cada "cuña" en el momento de la colimación recíproca; con a_1 , b_1 y a_2 , b_2 las

inclinaciones leídas al bisectar desde los dos instrumentos las tablillas superior e inferior y con α , β , y los ángulos que forman con la horizontal verdadera, las visuales a las tablillas superior e inferior y la correspondiente



en el momento de la colimación recíproca, respectivamente. Resulta entonces:

En la Figura 4:

$$h'_1 = D \operatorname{tg} \beta_1 \text{ y } h''_1 = D \operatorname{tg} \gamma_1$$

$$h_1 = h'_1 - h''_1 = D (\operatorname{tg} \beta_1 + \operatorname{tg} \gamma_1)$$

$$d = D (\operatorname{tg} \beta_1 + \operatorname{tg} \alpha_1)$$

$$h_1 = d \frac{\operatorname{tg} \beta_1 + \operatorname{tg} \gamma_1}{\operatorname{tg} \beta_1 + \operatorname{tg} \alpha_1}$$

Y razonando análogamente:

$$h_2 = d \frac{\operatorname{tg} \beta_2 + \operatorname{tg} \gamma_2}{\operatorname{tg} \beta_2 + \operatorname{tg} \alpha_2}$$

Como el ángulo de máxima desviación vertical de la visual es $\pm 200''$ ($\approx 0,001$ rad) y $\operatorname{tg} 200'' \cdot 200'' \approx 0,3 \times 10^{-9}$ rad, es decir, menos de 0,001mm

sobre 1000 m de longitud de visual, podemos considerar a los ángulos α , β , y γ iguales a sus tangentes y los valores a , b y c de las desviaciones leídos en la escala como si fueran ángulos. Entonces (Fig. 5):

$$h_1 = d \frac{\beta_1 + \gamma_1}{\beta_1 + \alpha_1} = d \frac{b_1 - c_1}{b_1 - a_1}$$

y

$$h_2 = d \frac{\beta_2 + \gamma_2}{\beta_2 + \alpha_2} = d \frac{b_2 - c_2}{b_2 - a_2}$$

Luego el promedio,

$$H_1 = 1/2 (h_1 + h_2),$$

corresponderá a

la altura del horizonte verdadero con respecto al vértice de la tablilla inferior situada en la orilla opuesta.

Se aplica un razonamiento similar para establecer la altura de la horizontal verdadera con respecto a una graduación de una mira colocada sobre un punto auxiliar cercano a los dos niveles. En la orilla lejana se

deberá medir la altura del vértice de la tablilla inferior allí situada, con respecto al correspondiente punto auxiliar cercano, mediante nivelación convencional.

El mismo procedimiento se utilizará para las mediciones desde la estación opuesta, efectuándose las biseciones recíprocas de las tablillas, en forma simultánea.

Se tendrán así todos los valores necesarios para una doble determinación del desnivel entre el punto auxiliar de una orilla y el de la otra, como se indica en el esquema de la figura 6.

Las observaciones deberán repetirse de acuerdo a las indicaciones del manual del equipo y la cantidad de reiteraciones será función de la precisión requerida, de la longitud de visual y de las condiciones atmosféricas.

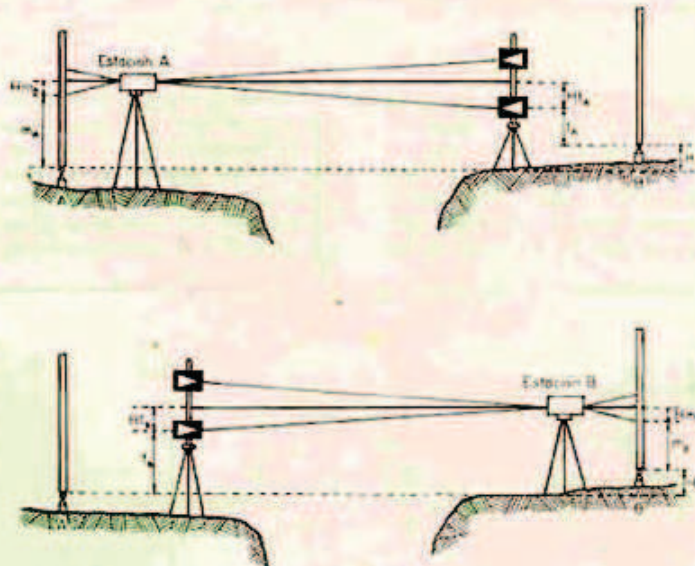
Mediante el procedimiento básicamente descrito y gracias a la colimación recíproca, es factible eliminar el efecto de los errores residuales de ajuste de los instrumentos sin necesidad de intercambiarlos de estación durante las operaciones de una jornada de trabajo. Es el método particularmente adecuado para cruces alimétricos de gran extensión en nivelaciones de primer orden.

4. CONSIDERACIONES FINALES

En el I.G.M. se ha adquirido una vasta experiencia, aplicando los distintos métodos conocidos, en numerosos trabajos realizados a partir de los primeros "cruces" llevados a cabo en 1922 en las zonas Baradero - Ibicuy y Santa Fe - Paraná a través del río Paraná.

Merece recordarse que en muchos casos el I.G.M. ha contado con el apoyo de organismos internacionales y nacionales, para concretar tales operaciones que sirvieron para diversos fines:

— Vinculaciones alimétricas internacionales: como contribución al programa de enlace de redes geodésicas para la deter-



DETERMINACIÓN DEL DESNIVEL H , ENTRE LOS PUNTOS A y B:

$$H = \frac{1}{2} (H_1 + H_2) = \frac{1}{2} [(h_{m_A} + m_A) - (h_{f_A} + f_A)] + [(h_{m_B} + m_B) - (h_{f_B} + f_B)]$$

FIGURA 6:

minación del Punto Datum Sudamericano; para el estudio de proyectos de grandes emprendimientos hidroeléctricos (Yaciretá, Salto Grande y Corpus) y para los estudios relativos a la navegabilidad de ríos (río Paraguay).

- Aporte de datos para conectar sectores de la Red Fundamental Argentina de Nivelación y asimismo analizar su comportamiento, tal el caso del enlace del sector mesopotámico con el litoral santafecino y chaqueño, a través del río Paraná.

En conclusión puede hacerse constar que todos los procedimientos utilizados han proporcionado excelentes resultados. No obstante cabe señalar, que la aplicación del equipo Doble Nivel Zeiss a partir de 1974, ha facilitado la solución del problema técnico y permitido la reducción de los tiempos de observación sin disminuir las precisiones exigidas.

Como comentario final se agrega que el equipo se utiliza en cruces alimétricos de valles profundos, control de represas y puentes y particularmente cuando se dispone de tiempos muy reducidos para medir con visuales largas, como lo ocurrido en las determinaciones de nivel de mareógrafos en las marismas de la región de Neuwerk, sobre el río Elba en la República Federal de Alemania, debido a las condiciones de las mareas (H. W. Braash, Hamburgo).

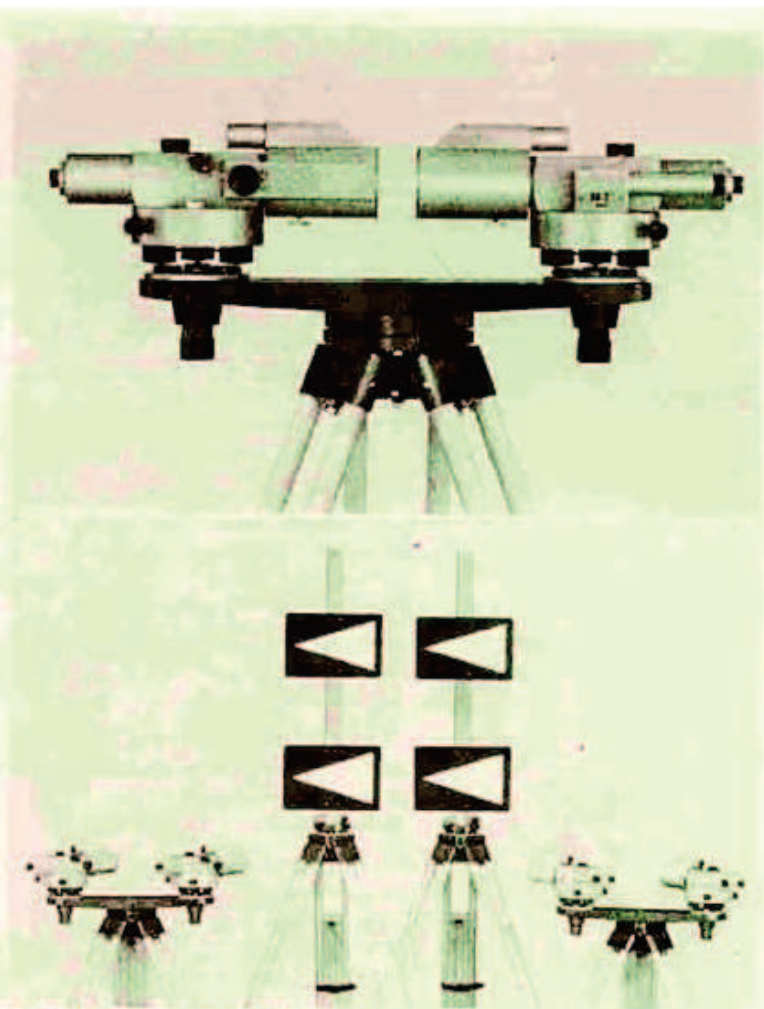


FIGURA 7: Equipo Nivel Doble Zeiss.

NOTA Los comentarios expuestos en el presente artículo, solo pretenden ampliar, quizás facilitar la información sobre un elemento técnico y su aplicación, aporte que puede ser útil a los operadores de campo que lo emplean. La

mención reiterada de la marca de fábrica es meramente circunstancial por tratarse de un equipo instrumental único, cuya designación resulta inneludible y no conlleva intento alguno de su promoción.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

— **Federal Geodetic Control Committee, USA, Department of Commerce.**
"Standards and Specifications for Geodetic Control Networks: NOAA Manual NOS NG53, Geodetic Leveling", Chapter 4, River or Valley Crossing. Rockville, Maryland, USA, 1984.

— **Martin Drodosky.**
"Paso de río por nivelación con el Nivel Zeiss N2". Separata en castellano del artículo publicado en "Zeitschrift für Vermessungswesen", Año 85, 1969, N° 36.
Stuttgart, R. F. de Alemania.

— **Carl Zeiss, Oberkochen/Württ.**
"Manual de Instrucciones para el manejo del Nivel Doble Zeiss". Oberkochen, República Federal Alemana, 1970.

— **Instituto Geográfico Militar.**
"Instrucciones Técnicas para los Trabajos de Campo. Fascículo IV, Nivelación". Publicación del I.G.M. Buenos Aires, 1966.

— **Jordan - Eggert - Kneissl.**
"Handbuch der Vermessungskunde" (Manual de Geodesia 10a Edición, Vol III, p. 205/218). Stuttgart, Germany.

— **W. Jordan.**
"Tratado General de Topografía", Vol I, p. 258; Vol II, p. 96. Editorial G. Gili S.A. Barcelona, España.

— **Instituto Geográfico Militar.**
"Anuarios del I.G.M. de la República Argentina", I.G.M. Buenos Aires - 1922 a 1960.

— **H. W. Braash**
"Determinaciones de nivel de mareógrafos en las marismas de Neuwerk (Neuwerker Watt) con el equipo de paso de valles del Nivel N2 ZEISS". Tirada en castellano del artículo publicado en "Zeitschrift für Vermessungswesen", Año 1964, N° 8, p. 260/266. Stuttgart - R. F. de Alemania.

— **Instituto Geográfico Militar.**
"Las nivelaciones de cruce del río Paraná entre Baradero e Ibicuy y entre Paraná y Santa Fe". Publicación N° 4, Serie B, I.G.M. Buenos Aires, 1928.



CRUCES ALTIMETRICOS DE RIOS EFECTUADOS POR EL INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR					
METODO	RIO	SITUACION GEOGRAFICA	LONGITUD m	ERROR MEDIO mts	AÑO DE MEDICION
Trigonométrico	Paraná	Baradero (Bs.As.) - Itácuay (E. Ríos):			1922
		Paraná de las Palmas	313	± 0,66	
		En línea N 26	1345	± 3,18	
		Paraná Guazú	814	± 1,56	
		Paraná Pavón	514	± 0,60	
Norteamericano	Paraná	Paraná - Santa Fe: (Río Colastiné)	330	± 0,85	1922
		Argentina - Paraguay:			1953
	Tehicuary	Candelaria - Campichuelo	650	± 1,02	1954
		Villa Florida (Paraguay)	507	± 0,88	
Geométrico IGM	Tehicuary	Villa Florida (Paraguay)	507	± 0,71	1954
		Paso Picada (Pcia. Corrientes)	1174	± 3,3	1939
		Argentina - Uruguay:			1947
		Concordia - Salto	650	± 0,52	1954
	Paraná	Monte Caseros - Bella Unión	1050	± 0,08	
		Santa Fe - Paraná:			
		Río Colastiné	395	± 0,34	
	Paraguay	Río Tiradero Viejo	250	± 0,08	1960
		Río Paraná	850	± 0,64	
		Zárate (Bs.As.) - Pt. Constanza (E. Ríos):			
		Paraná de las Palmas	475	± 0,35	
	Iguazú	Paraná Guazú	1000	± 1,20	1972
		Zona ciudad de Santa Fe:			
		Paso Trajadero			
		Isla Mellados - Isla La Paciencia	377	± 0,48	
	Uruguay	Riacho Barroso			1972
		Isla La Paciencia - Isla Linch	945	± 0,65	
		Argentina - Paraguay:			
		Fornosa - Alberdi	276	± 0,33	
Equipo Nivel Doble Zeiss NL2	Uruguay	Pt. Pilonayo - Itá Enramada	533	± 0,45	1973
		Argentina - Brasil:			
		Pt. Iguazú - Pt. Meira	302	± 0,31	
	Paraná	Argentina - Brasil:			1974
		San Javier - Porto Xavier	610	± 0,70	
		Argentina - Paraguay:			1974
		Paso de la Patria - Itá Pirú	2200	± 3,05	
		Itá Ibaté - Isla Paraguaya	1300	± 0,77	
		Isla Paraguaya - Yabétyry	360	± 0,02	
		Reconquista (Sta Fe) - Goya (Corrientes)			1976
		Reconquista - Isla San Gerónimo	796	± 2,6	
		Isla San Gerónimo - Isla Caragatay	1900	± 1,1	
		Resistencia (Chaco) - Corrientes			1976
		Zona Puente General Belgrano	1800	± 1,55	
		Zona Pcia de Santa Fe:			1978
		Pt. Ocampo - Isla Toropí	2500	± 1,2	
	Argentina - Paraguay:				1979
		Pt. Nuevo (Misiones) - Pt. Pirapó	620	± 0,49	

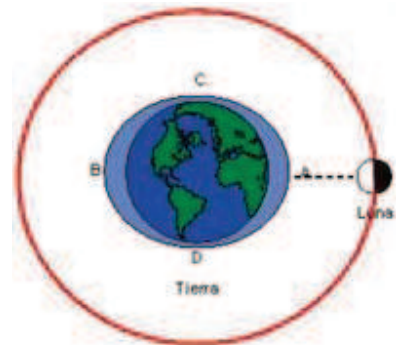
Las Mareas ⁵

Debido al poco conocimiento que sobre las mareas tenemos los profesionales del interior del país, estimo necesario hacer un breve comentario sobre la acción de las mareas, para tal fin, a continuación se transcribe dos resúmenes del tema (tomados de la red Internet), el primero de ellos de contenidos muy elementales. Y luego un extracto de una publicación realizada por el Instituto Geográfico Militar. -revista N°4 -año 1988.

- **Las mareas (Internet)**

Las mareas son movimientos de ascenso y descenso que se producen en el mar por la fuerza de gravedad que ejerce sobre la Tierra, la Luna y el Sol. La Luna es el astro que está más cerca de la Tierra; ella es la responsable principal de las mareas. Como consecuencia de atracciones y movimiento, el agua se acumula en dos lugares: uno en el punto que está directamente bajo la Luna y otro en el lado opuesto de la Tierra. Dado que esta da vueltas sobre su eje cada día los abultamientos en el mar aparentemente van viajando.

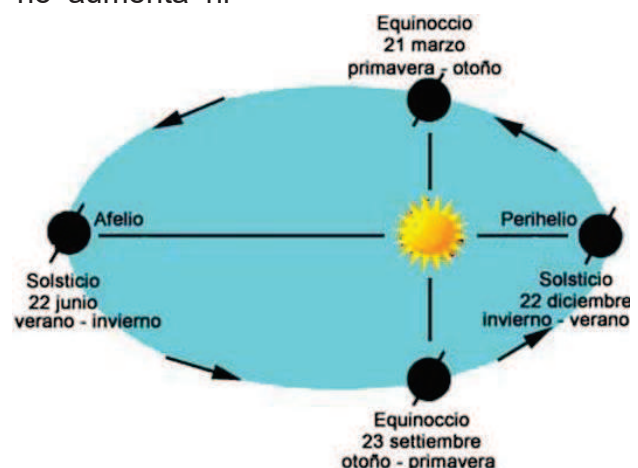
Cuando nuestro satélite queda ubicado sobre las aguas marinas, su fuerza de gravedad hace que estas sean atraídas: es la marea alta o pleamar. La Tierra gira y cuando la Luna ya no está sobre la misma zona del mar, el agua desciende. Es marea baja o bajamar. En este esquema vemos como se produzcan las mareas. En el punto A la luna ejerce su fuerza de atracción y el agua sube: marea alta. Lo mismo ocurre en B, sube porque es la Tierra la que es atraída. En los puntos C y D se produce marea baja. A causa del movimiento de la Luna alrededor de la Tierra las mareas altas no se producen a la misma hora.



El lapso transcurrido entre dos mareas altas sucesivas es aproximadamente 12hs. 25min.

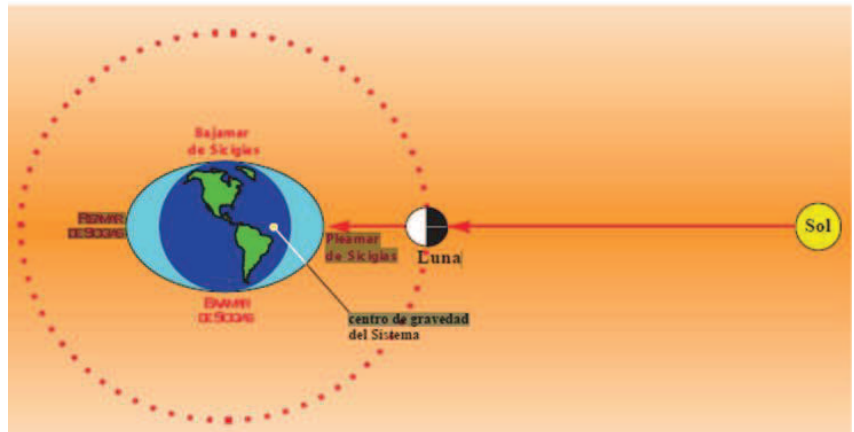
Durante las mareas, el agua de la Tierra no aumenta ni disminuye su volumen solo se desplaza. El sol tiene una influencia sobre las aguas similar a la de la Luna pero, por su lejanía el efecto producido sobre el nivel es menor.

Dos veces por mes las mareas producidas por el Sol y la Luna coinciden, son durante la Luna llena y Luna nueva; los dos astros ejercen al mismo tiempo su atracción sobre el mar, se producen pleamares más altas y bajamares más bajas. Estas se conocen como Mareas Vivas (aguajes) y se



⁵ Internet. Topometría y Microgeodesia. Ing. Agrim. A. del Bianco. Dpto. FCEyN - UNC

presentan alrededor de día y medio después de Luna Nueva y de la Luna llena (sicigias). Durante el cuarto creciente y el cuarto menguante (cuadraturas) las mareas son de menor amplitud y se conocen como Mareas Muertas (redondas)



Las mareas altas son más intensas en unas costas que en otras. En los mares interiores, como el Mediterráneo, son poco notables de 25cm a 40cm, mientras que en otros puntos alcanzan alturas considerables como en Bahía de Fundy, en Canadá, llegan a 21m.; en Santa Cruz, en la Argentina llegan a 12m.

- **Las mareas⁶ (IGM)**

...Uno de los efectos más notables de la gravitación lo constituyen las mareas oceánicas por el flujo y reflujo observado en las costas. Se trata de describir cómo actúan las fuerzas que originan las masas de agua, sino también a la tierra sólida y a la atmósfera, retardando además la rotación de la Tierra y alejando a la Luna.

Cuando dos cuerpos como la Tierra y la Luna se mueven bajo la atracción gravitacional mutua, ambos lo hacen alrededor de un punto que es el centro de masa común, ubicado sobre la línea que une el centro de ambos cuerpos y más del cercano al mayor. Como la Tierra tiene una masa del orden de 80 veces superior a la Luna, el centro de masa común se encuentra dentro de ella y separado de su centro a tres cuartas partes del radio terrestre. La fuerza gravitacional que ejerce la Luna sobre la Tierra tiende a acercar a ambos cuerpos (también al fuerza que ejerce la Tierra sobre la Luna) siendo atraída en mayor medida la parte de la Tierra más cercana a la Luna que la diametralmente opuesta, ya que la fuerza gravitacional disminuye según la ley de la inversa del cuadrado de la distancia. En cambio, la fuerza centrífuga debida a la rotación alrededor del centro de masa común es proporcional a la distancia de ese punto a las distintas partes de la Tierra. La parte más alejada (y también de la Luna) estará sometida a una fuerza centrífuga mayor que la parte más cercana al centro de masa común (y por lo tanto a la Luna). Las fuerzas gravitacional y centrífuga se anulan en el centro de la Tierra, pero en la parte más cercana a la Luna predomina la fuerza gravitacional y en la más alejada predomina la centrífuga. En promedio, se sobre toda la tierra se equilibran y por lo tanto permanece en la órbita. Como consecuencia, en la dirección Tierra-Luna resultan fuerzas que tienden a alejar las partes diametralmente

⁶ Instituto Geográfico Militar. - revista N°4 - año 1988

opuestas del centro de la Tierra, mientras que en la dirección perpendicular el efecto es contrario.

Así actúan las fuerzas de marea. Como al cabo de 12 horas la Tierra gira media vuelta alrededor de su eje, predomina alternativamente en cada lugar la fuerza gravitacional y la fuerza centrífuga. Es por eso que la marea tiene un período aproximadamente 12 horas.

Cuando se analiza este fenómeno en detalle se demuestra que la fuerza de marea lunar es proporcional a la inversa del cubo de la distancia y a la masa de la Luna. Pero la tierra sufre también la atracción gravitacional del Sol y describe la órbita solar. La masa del Sol; es del orden de 30 millones de veces de la masa de la Luna y se encuentra unas 400 veces más alejado que la Luna de la Tierra pero como la fuerza de marea varía con la inversa del cubo de la distancia resulta que el efecto de marea del Sol es sólo del orden de la mitad del de la Luna. Si la Luna y el Sol se encuentran en la misma dirección (conjunción) o en direcciones opuestas (oposición) las fuerzas de marea se suman, produciéndose mayores deformaciones en la Tierra. Pero cuando la Luna está en los cuartos crecientes y menguante (el Sol y la Luna forman un ángulo recto con la Tierra) la Luna produce elevaciones allí donde desciende a causa del Sol y recíprocamente en la dirección perpendicular. Como consecuencia las mareas son menores.

El campo de gravedad terrestre y las fuerzas de marea.

Como es sabido, la fuerza de atracción terrestre actúa sobre todos los cuerpos y hacia el centro de la Tierra. Esta fuerza resulta de la atracción gravitacional sobre la masa de esos cuerpos ejercida por la masa de la Tierra y de la fuerza centrífuga debida a la rotación, mucho menor que la primera. Es la fuerza de gravedad observada o peso de los cuerpos sobre la tierra. Como la fuerza peso de un cuerpo depende de la masa de ese cuerpo, cabe independizarse de la masa, considerándola igual a la unidad. La fuerza de gravedad sobre la unidad de masa tiene como equivalente exacto la aceleración de la gravedad, de acuerdo con la segunda ley de Newton. Se la indica con **g** y es de aproximadamente **9.8m/seg²**. Su valor verdadero varía con la latitud, altitud y las condiciones topográficas y geológicas locales. Definen el campo gravitacional terrestre. Del mismo modo, la fuerza de marea que actúa sobre la unidad de masa será la aceleración de marea. Interesa mostrar cómo afecta la marea al campo de gravedad terrestre.

La aceleración de la gravedad es alterada tanto en intensidad como en dirección.

La mecánica celeste proporcional los elementos para el cálculo teórico del potencial de mareas (la aceleración de marea es el gradiente de ese potencial) que se desarrolla en una serie de numerosas funciones armónicas, llamadas ondas de mareas teóricas, las cuales se agrupan según el período en componentes semidiurnos, diurnos **t** de largo período (períodos de aproximadamente 12 horas, 24 horas y meses respectivamente) que caracterizan los distintos parámetros usados (excentricidad orbital, declinación de la Luna y del Sol, etc.).

Mareas oceánicas y atmosféricas

Lo expuesto hasta ahora resulta más intuitivo si se refiere al mar, no obstante la complejidad de los factores que intervienen (fondos, costas, efectos termodinámicos, etc.).

Si la Tierra estuviera cubierta totalmente por el océano, se calcula teóricamente que se elevará en el orden de 60 cm. en Luna llena y Luna nueva. Pero en las costas se observan mareas muy diferentes, aunque la información satelitaria indica que en medio del océano las mareas no difieren mucho de la teoría. Las mareas alcanzan gran altura si la línea costera tiene forma tal que el agua quede atrapada en canales que se van estrechando (bahías) donde pueden alcanzar más de 12 metros. Fuera de allí pueden ser muy pequeñas. En mares pequeños (Báltico, Negro) tales que en toda su extensión están al mismo tiempo en pleamar o bajamar, no hay prácticamente mareas. Un efecto importante de las mareas es el rozamiento. Al desplazarse los abultamientos de las mareas alrededor de la Tierra debido a la rotación, se producen rozamientos en el fondo oceánico, sobre todo en mares extensos y poco profundos. Como resultado se produce una disipación de energía y la Tierra aumenta su periodo de rotación en el orden de 2×10^{-8} seg. por día, que se acumulan a medida que transcurre el tiempo. Hace 1988 años los días tenían 0,0145 segundos menos. Desde aquella época el retardo acumulado resultaría la suma de los términos de la progresión aritmética: $0,0145 \times 1988 \times 325.25/2 = 1\text{h } 28\text{m}$.

- Esto demuestra que la Tierra no es un buen reloj, particularmente para predicciones astronómicas a largo plazo.

Otro efecto es el aislamiento de la Luna. La ley de conservación de la cantidad de movimiento angular en el sistema Tierra-Luna impone que una disminución de la velocidad de rotación de la Tierra implique un aumento de la cantidad de movimiento angular de la Luna. Este aumento significa alejarse y es del orden de 8 mm por período lunar. Como cabe esperar, las fuerzas de marea actúan también sobre la atmósfera que cubre la Tierra. La forma más simple de observarla es mediante barómetros con registro continuo durante largos períodos. Lamentablemente, hay muchas variaciones meteorológicas que enmascaran los resultados. Sin embargo, las fluctuaciones son mayores de lo previsto teóricamente, lo cual implicaría que la atmósfera esta en resonancia con las fuerzas de marea.

Mareas de la tierra sólida

Las fuerzas de marea también deforman a la Tierra sólida dando lugar a las llamadas mareas terrestres. Pero sólo aquí se puede medir con gran precisión las variaciones producidas al campo de gravedad.

Si la Tierra sólida fuera rígida el efecto sería la variación del campo de gravedad de las mareas teóricas, pero se constatan discrepancias cuyo origen es la falta de rigidez. Los instrumentos utilizados para observar las variaciones en la intensidad del campo de

gravedad son los gravímetros registradores. Las fluctuaciones en la dirección de la línea de la plomada se determinan con clinómetros y las deformaciones con extensiómetros.

Los registros de observaciones tienen superpuestos efectos perturbadores, particularmente cabe mencionar el de las mareas oceánicas, influencias locales, etc. La curva de marea registrada se descompone en mareas parciales y se compara con mareas teóricas mediante un proceso de análisis armónico.

Los resultados de las mediciones proporcionan información desde un punto de vista científico puro, tal como los parámetros que traducen la falta de rigidez de la Tierra o la declinación de unidades tectónicas, y desde el punto de vista utilitario se pueden incluir como correcciones a las observaciones geodésicas cuando la precisión exigida es del orden del efecto de marea.

Cabe mencionar que en las medidas absolutas de la aceleración de la gravedad que se están realizando se alcanzaría una precisión de 10^{-7} m/seg² y en las diferencias de gravedad con gravímetros de 1 a 5×10^{-7} m/seg², dependiendo del lugar y de las heterogeneidades interiores. En nivelaciones de alta precisión se toman en cuenta las desviaciones en la dirección de la plomada debido a las mareas, deduciéndose las correcciones correspondientes...”.

4. APLICACIONES DE LOS LEVANTAMIENTOS HIDROGRÁFICOS

Control y mantenimiento de las vías navegables

Base para los estudios y proyectos de Obras de Ingeniería

Replanteo de límites entre la propiedad privada y la propiedad pública del Estado, para la ejecución de obras de ingeniería.

4.1. Vías Navegables⁷

Una de las aplicaciones más importantes que tienen los levantamientos batimétricos, es la Planificación, el desarrollo, el mantenimiento y mejoramiento de las vías navegables que en nuestro país está alcanzando un nivel casi óptimo. Hoy por hoy, el flete más barato a nivel mundial es el del transporte fluvial – marítimo. Como dato ilustrativo podemos agregar que una barcaza, según la mercadería que transporte,



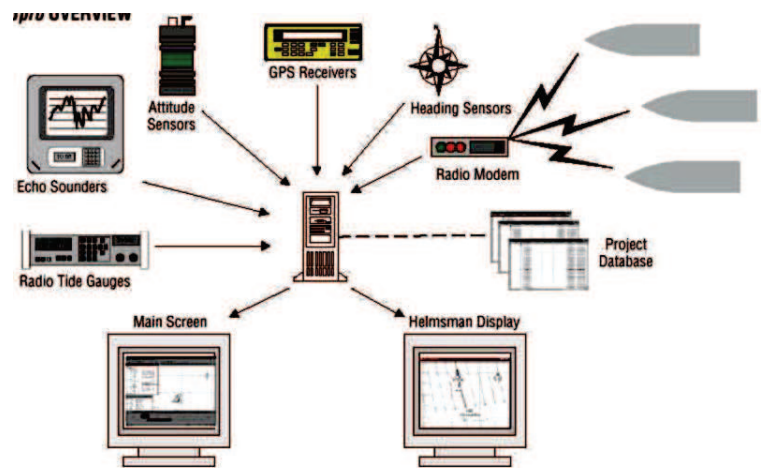
⁷ Agrim. Fernando Fontella. ex profesor de Topografía Aplicada de la Universidad Nac. de Morón. c/ experiencia en relevam. vías navegables, por haber trabajado en la empresa Hidroceano SA

puede llevar un promedio de carga de 2.000 Tn. Y para una mayor información, podemos agregar que en el Paraná superior ya se están moviendo trenes de barcazas en formación de 4x4 (16 barcazas), calcule la capacidad de carga transportada y con un solo empuje.

A medida que bajamos por la misma cuenca, es decir en el Paraná medio, Paraná Inferior y Río de La Plata, podemos encontrar barcos Over-Panamax o Capshaw de hasta 280 m de eslora y que transportan un tonelaje superior a las 60.000 toneladas.

Este tipo de levantamiento se lleva a cabo con lanchas o barcos hidrográficos, con valores de eslora de 15 m a 30 m (o más), con potencias que pueden alcanzar varios miles de caballos. Equipada mínimamente con el siguiente instrumental:

- Sistema DGPS a tiempo real.
- Sonda Digital / analógica, preparada para trabajar simultáneamente con el DGPS y el Software de la PC.
- PC y Software específico y adecuado, que permita determinar para cada punto los valores X, e Y y la profundidad correspondiente que determine la ecosonda. El software más comúnmente usado es el HYDRO
- Equipos de comunicaciones y modem
- Impresora y Plotter
- Sensores para determinar la velocidad del sonido en el agua.

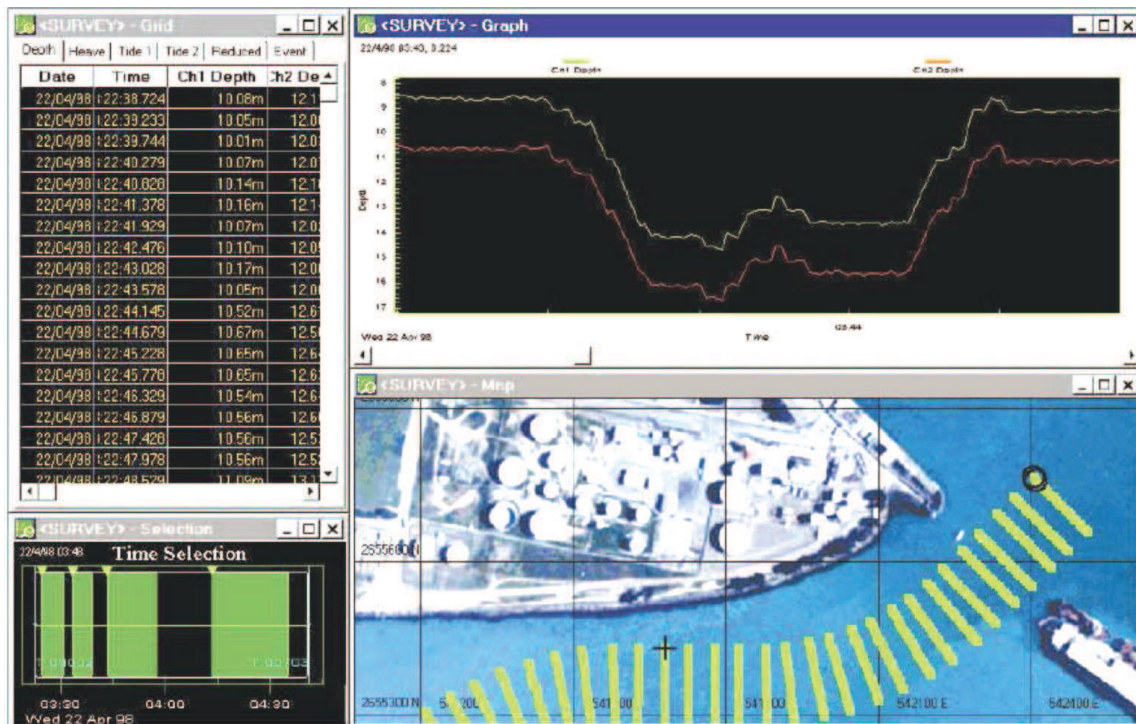


Antes de comenzar cada trabajo, se calibra la sonda en forma muy precisa, tanto en forma analógica como digital.



En general, los programas para este tipo de levantamiento permiten trazar el tipo de malla estableciendo sobre una pantalla la misma, y permitiendo al timón el seguir también a través de una pantalla adicional, tanto en forma gráfica como numérica, y efectuar las correcciones necesarias.

Los programas permiten también, registrar fechas y horas de cada observación



Estos trabajos, implican la presencia permanente de un surveyor a bordo, que operará todo el sistema coordinando con el timonel los movimientos de la lancha. Además deberá contarse como condición necesaria, un segundo timonel, maquinista y auxiliar de a bordo.

También es condición fundamental recibir en tiempo real, los datos de alturas de mareas de los hidrómetros y mareógrafos, a fin de efectuar las correcciones necesarias.

Recordemos, que las profundidades de las vías navegables, están referidas a algún cero local o general, los cuales están estrechamente vinculados a los análisis estadísticos de los registros hidrométricos. En nuestro país, estos registros alcanzan a 100 años de datos confiables.

4.2. Obras de Ingeniería

Con los elementos enunciados en el capítulo anterior, estamos en condiciones de realizar un levantamiento hidrográfico de cualquier tipo, y entregar a los proyectistas los fundamentos básicos para el estudio de la obra:

- planimetría general
- planimetrías de detalles

- perfiles transversales
- planos con curvas batimétricas, hipsobáricas, etc.

Sobre la base de una topobatimetría los proyectistas elegirán el sector más conveniente para el emplazamiento de la obra.

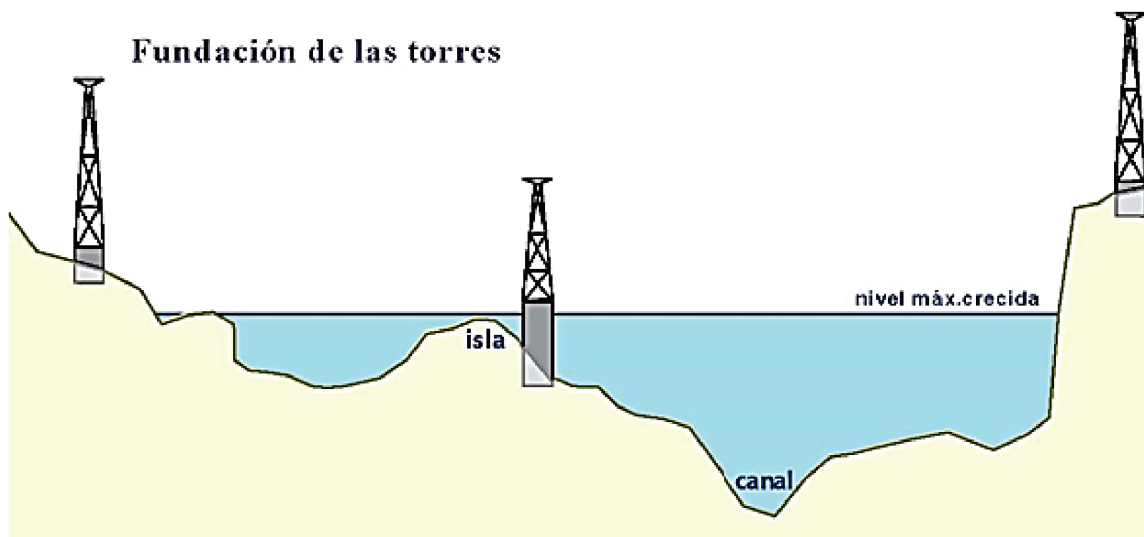
Ejemplo: supongamos se desea proyectar una **línea de alta tensión** (500Kv) que cruce el Río Paraná. En base al levantamiento topobatimétrico de las costas, los proyectistas elegirán el mejor lugar para el cruce, y en ese lugar nos solicitarán el levantamiento de un perfil.

Supongamos que el perfil que representa al sector de cruce elegido sea:



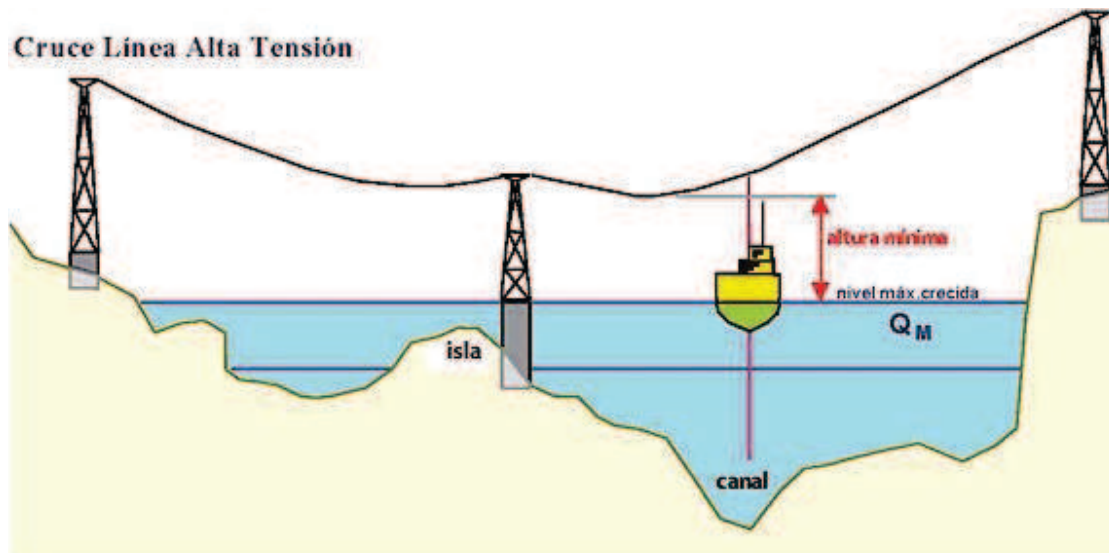
Pero con este perfil solo no alcanza, faltan conocer otros elementos importantísimos:

Se necesita determinar, y ubicar la cota del pelo del agua en el momento **de máxima crecida**. Esta cota servirá para determinar el nivel del hormigón terminado de las bases de la torre, ya que en ningún momento el agua puede mojar la estructura metálica.



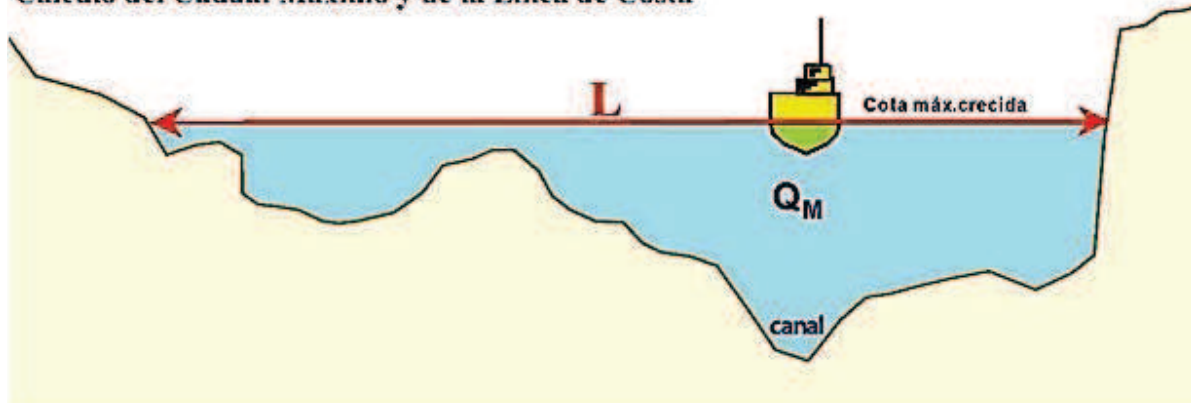
Conocer precisamente el nivel que alcanza el pelo de agua en la creciente máxima, es fundamental, ya que entre la catenaria del cable y el pelo del agua tiene que quedar espacio suficiente para que pase un barco. Y no se interrumpa la navegabilidad del río.

Dato muy importante a obtener es conocer la forma y posición, de la línea poligonal de la costa, en el momento de la máxima crecida, a fin de colocar las torres lo más retirado posible de esa posición, ahorrando de esa forma mucho dinero en la construcción de costosas defensas.



Para poder determinar todos estos datos, se hace necesario conocer el **caudal (Q_M)** del río aforado en los momentos de crecientes.

Calculo del Caudal Maximo y de la Línea de Costa



Otro ejemplo: si en lugar de tratarse de una línea de alta tensión hubiese sido un **punto carretero**, los requerimientos serían prácticamente los mismos.

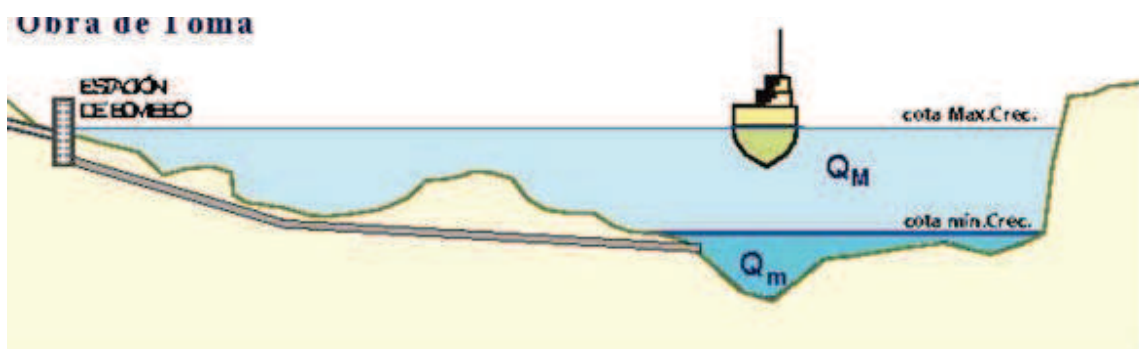
El perfil transversal del cauce del río, hubiese servido para el proyectar las posiciones de las pilas, la determinación de la cota de fundación de la infraestructura y la posición de eje del canal de navegación. Luego, como en el ejemplo anterior, se precisaría conocer la cota del pelo del agua de la máxima creciente para sobre elevar por encima de ella la superestructura, y para elevar el puente en coincidencia con el eje del canal, permitiendo

así el paso de los barcos. También es necesario determinar la línea de costa (en el momento de la máx. creciente), a fin de establecer la posición de los estribos del puente.



Otro ejemplo: En los dos casos que hemos analizado resulta de fundamental importancia determinar la cota del pelo de agua en el momento de las crecientes extraordinarias, en otros casos, como el de una **obra de toma de agua** para la provisión a una ciudad, interesa conocer la cota del pelo de agua y la posición de la línea de costa, en el momento de menor caudal, es decir en la época de estiaje, a fin de evitar que quede sin captación de agua.

De igual modo, también interesa conocer la cota del pelo del agua de la máxima creciente para construir sobre dicha cota las obras civiles y mecánicas de la estación de bombeo.



Otro ejemplo: también en los proyectos de puertos fluviales, interesa conocer la posición de la poligonal que define la línea de costa, tanto sea la línea configurada por el mínimo caudal histórico, como la línea correspondiente a la de máxima crecida.

Obra de Puerto



El primero de ellos, para la construcción del canal de navegación y amarre, y el segundo, para el proyecto de la construcción de las dársenas.

A fin de poder determinar estos requerimientos, es necesario cumplir una serie de pasos previos, comenzando por determinar la pendiente media de un curso líquido.

4.3. Determinación de la pendiente media⁸

Como bien sabemos de la Geometría Analítica, la pendiente de una recta es la tangente del ángulo generado por la dirección de la recta y la dirección del eje de las abscisas.

$$a = \operatorname{tg} \alpha$$

Si en lugar de la dirección, la recta estuviese definida por dos puntos, la pendiente será:

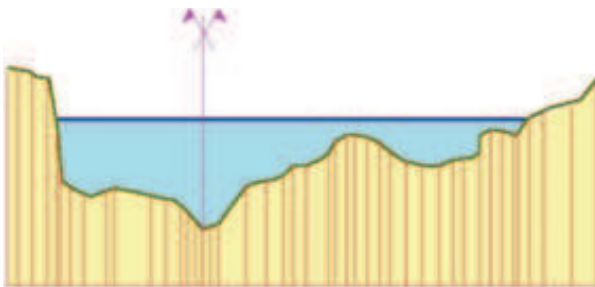
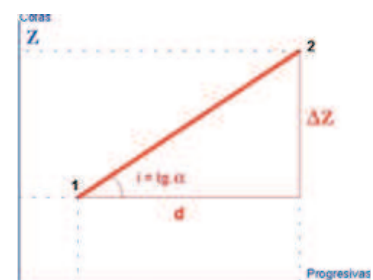
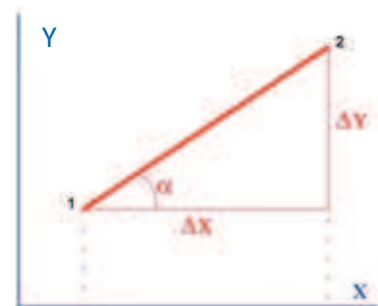
$$A = \Delta Y / \Delta X$$

Ubiquémonos ahora en el sistema de representación utilizado en los perfiles longitudinales, donde el eje de las abscisas corresponde a las progresivas de los puntos, y el eje de las ordenadas las cotas, luego la pendiente de la recta definida por dos puntos será el cociente entre la diferencia de cotas y la distancia parcial (**diferencia de progresivas**).

$$I = \Delta Z / d \Rightarrow d = \Delta \text{Progres.}$$

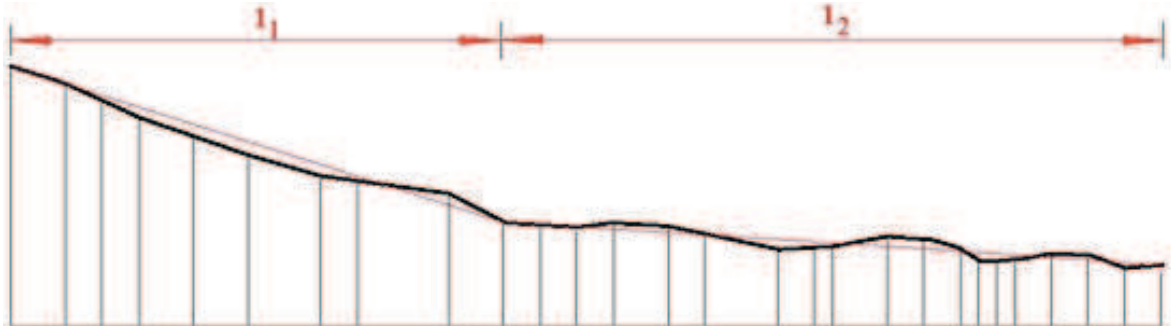
Para determinar la pendiente media de un curso de agua, es necesario relevar un perfil longitudinal coincidente con el eje del canal del río; es decir, uniendo los puntos más profundos. Esta línea quebrada, recibe el nombre de “**eje de vaguada**” o “**talweg**”.

Como no podemos saber en qué lugar se encuentra el punto más profundo, lo deduciremos uniendo los puntos más bajos del modelo digital, o bien tomando el punto de mayor sondeo (de menor cota) en cada uno de los perfiles transversales



⁸ Topometría y Microgeodesia. Ing. Agrim. A. del Bianco. Dpto. FCEFyN - UNC

Una vez generado el perfil longitudinal del lecho del río, tomado por el eje de vaguada, se define la pendiente media como una recta compensadora tomando como fijos aquellos puntos donde los quiebres de pendientes son más significativos.



Determinar la pendiente media de un curso de agua, nos es útil para realizar algunos cálculos específicos, como por ejemplo calcular la **velocidad del líquido** en un curso de agua, como paso previo para el cálculo del **caudal**.

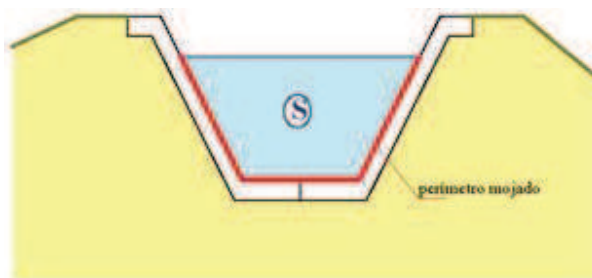
4.4. Cálculo del caudal de un canal ⁹

El caudal Q [m^3/seg] de líquido, que atraviesa una sección S [m^2] determinada es

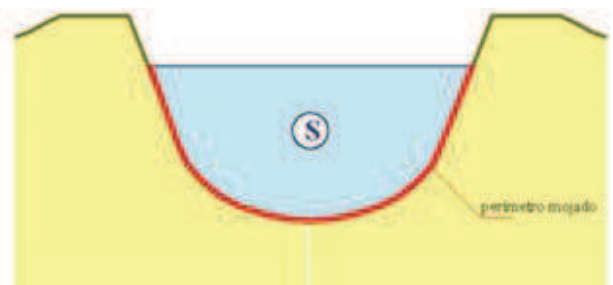
$$Q = S \cdot V \text{ (donde } V \text{ es la velocidad del curso de agua)}$$

Como el **caudal máximo** de un canal, **es una constante**, luego la sección y la velocidad pueden ser variables, por lo tanto para cada tipo de sección le corresponderá una velocidad del líquido.

Si se nos pide determinar el caudal de un canal, sólo sería necesario relevar una sección cualquiera, calcular la velocidad para esa sección y estaríamos en condiciones de obtener la repuesta buscada, sin embargo, como en el cálculo intervienen parámetros que fueron determinados en forma empírica, siempre conviene medir una mayor cantidad de secciones y obtener el promedio de todas ellas y el valor de la dispersión.



canal revestido



canal sin revestir

Pasos a seguir:

1. El primer paso es realizar el relevamiento de la sección del líquido S [m^2]

⁹ Topometría y Microgeodesia. Ing. Agrim. A. del Bianco. Dpto. FCEfYN - UNC

- Obtenido el perfil transversal, calculamos el perímetro mojado p [m]
- Luego el radio hidráulico, el cual se calcula aplicando:

$$R = S / p \text{ [m]}$$

- Conociendo la naturaleza de las paredes del canal, se calcula el coeficiente de rugosidad C

Los algoritmos usualmente más empleados son:

$$\text{fórmula de Bazin: } C = 87 \sqrt{R} / (m + \sqrt{R})$$

$$\text{fórmula de Manning: } C = 1/n \cdot R^{1/6}$$

Los coeficientes m y n dependen de la **rugosidad del material** que está construido las paredes del canal y se encuentran consignados en los respectivos clasificadores.

- Calculado el coeficiente C , se aplica la fórmula de **CHEZY**, para determinar la **velocidad media** de la corriente líquida

$$V = C \cdot \sqrt{R} \cdot i \text{ [m/seg]} \text{ (donde } i \text{ es la pendiente media del canal)}$$

- Finalmente, conocida la sección S (área mojada) y determinada la velocidad estamos en condiciones de calcular el caudal del canal:

$$Q = S \cdot V$$

Clasificador m para la fórmula de **Bazin**

Catego-	Naturaleza de las paredes	m
1	Paredes de cemento cuidadosamente enlucidas o de madera cepillada con esmero; agua limpia; canales con alineaciones rectas y amplias curvas. Paredes de cemento cuidadosamente enlucidas o de madera cepillada con esmero; agua turbia y	0.06
2	curvas de radio pequeño. Paredes de cemento con enlucido común; madera cepillada sin esmero; agua limpia; revesti-	0.10
3	miento de sillería o sillarejo. Paredes de cemento con enlucido rugoso; madera sin cepillar; canales excavados en tierra de	0.16
4	excelente ejecución y conservación con paredes y solera sin vegetación; curvas amplias y poco sedimento en el fondo; mampostería cuidadosamente ejecutada; revestimiento de gunita. Paredes de cemento sin enlucir, con resaltos en las juntas; trazado tortuoso; limo o musgo en	0.36
5	las paredes y fondo; revestimiento de mampostería común. Canales uniformemente excavados en tierra o grava, sin vegetación; curvas amplias; mampos	0.46
6	tería irregular; fondo liso con depósito de fango. Canales excavados en tierra, bien conservados con depósito en el fondo; de arena y otros mate	0.85
7	riales menudos; paredes lisas; o lecho liso con vegetación baja sobre las paredes; revestimiento de mampostería vieja, con fondo fangoso. Canales excavados en tierra, con vegetación baja en el fondo y en las paredes; ríos y arroyos	1.00
8	con trazado poco regular pero sin vegetación ni depósitos en el fondo. Canales excavados en tierra, mal conservados, con abundante vegetación, erosiones e irregula	1.30
9	ridades; depósito de grava. Canales excavados en tierra, abandonados, con riberas inconexas; canales con vegetación ocu	1.75
10	pando gran parte de la sección; ríos con fondos de guijarros.	2.30

1. Cálculo de la Sección **S_i** [10.649 m²]:
2. Cálculo del perímetro mojado **p** [8.769 m]
3. Cálculo del radio hidráulico **R** = S_i / p [1.214 m]
4. Cálculo del coeficiente de rugosidad **C**: sabiendo que
 1. **Bazin** : **C** = $87 \sqrt{R} / (0.06 + \sqrt{R}) = 82.507$
 2. **Manning** : **C** = $100 \cdot R^{1/6} = 103.285$
5. Cálculo de la velocidad → **V₁** = C · $\sqrt{R \cdot i}$ = [1.36 m/ seg.]
 → **V₂** = C · $\sqrt{R \cdot i}$ = [1.71 m/ seg.]
- 5.- Cálculo del Caudal → **Q₁** = S · V₁ = [37.5 m³/seg.]
 → **Q₂** = S · V₂ = [47 m³/seg.]

Hay otros modos de determinar la velocidad, y es midiéndolo de forma directa con un “velocímetro” colocado directamente sobre el filete líquido.

4.5 Cálculo del caudal de un Río ¹⁰

Se nos pedirá calcular el caudal de un río, de un arroyo o en general de una colectora de agua, para realizar el proyecto de un puente, de una obra de arte que cruce o encauce la correntada, o un sistema de defensas de costas.

Supongamos se necesite proyectar un camino de montaña que atraviesa un arroyo serrano, del cual se desconoce el aforo del caudal de máxima crecida. En ese lugar de cruce se deberá proyectar una obra de arte (puente o alcantarilla), cuya sección permita el paso del máximo caudal aportado por el arroyo.

En primer lugar es necesario la determinación del caudal aproximado, el cual se realiza a partir de un “Estudio de Cuenca”; este estudio se complementa con verificaciones de caudal tomados in situ, mediante perfiles transversales, en los lugares del cruce de la colectora con la traza de la obra en estudio.

4.5.1. Estudio de Cuenca ¹¹

4.5.1.1. Definición de la cuenca y tiempo de concentración.

Se denomina cuenca a la totalidad del área en la cual se acumula y encauza un determinado caudal (es así como por ejemplo, la cuenca de una alcantarilla está constituida por la superficie en que escurre el agua que pasa por ella).

Para delimitar una cuenca lo primero es identificar las dorsales (divisorias de agua) que separan los sentidos de escurrimiento.

¹⁰ Topometría y Microgeodesia. Ing. Agrim. A. del Bianco. Dpto. FCEFyN - UNC

¹¹ Topometría y Microgeodesia. Escrito por el Ing. Civil Daniel Martos Dpto. FCEFyN – UNC.

Las dorsales definen polígonos que constituyen las distintas cuencas.

Toda esta tarea se realiza en base a cartografía de línea con curvas de nivel, restituciones aerofotogramétricas, modelos digitales de elevaciones del terreno, en distintas escalas y equidistancias.

Una vez definida la cuenca según sus características (regularidad, extensión, topografía, escurrimientos, etc.), el tipo de proyecto (camino, río, dique, barrio, etc.) y las características de la lluvia con que se diseña, se estudia si es necesario dividir la misma en varias subcuencas.

La definición de **subcuencas** según estas características se hace por lo general para zonas de **distintos tiempos de concentración**.

Corresponde aquí definir lo que se denomina tiempo de concentración que es el tiempo en que tarda la gota de agua que cae en el punto más alejado de la cuenca en llegar al fin de la misma.

Para definir el tiempo de concentración no solo es necesario determinar el área de la cuenca sino también deben conocerse las características del terreno (tales como vegetación, material que constituye el suelo, etc.), obras realizadas (como canales, urbanizaciones, etc.) que frenen o aceleren el libre escurrimiento de las aguas y también los caudales. Por lo tanto todavía no estamos en condiciones de hacerlo, es por ello que, la división en subcuencas es, en muchos casos, subjetiva y depende bastante de la experiencia del proyectista. Es así como hemos definido áreas de cuencas y/o subcuencas.

4.5.1.2. Definición de la lluvia de diseño

Es necesario definir para nuestro proyecto cual es la lluvia de diseño para ello vale aclarar, aunque suene obvio que, la misma dependerá de la importancia de la obra a ejecutar.

Es así como por ejemplo se puede permitir que cada 5 años en un camino vecinal el agua desborde su sistema de desagüe anegándolo durante tres o cuatro horas, cosa que ya no es lógica si en vez de un camino vecinal el proyecto es de un camino o paso internacional.

Surge así el concepto de **recurrencia** como **el tiempo promedio en que se repetiría, en función de datos estadísticos, la intensidad de lluvia que utilizamos para diseñar la obra**. Por supuesto mientras los tiempos de recurrencia sean más grandes, más los serán las lluvias de diseño y la obra a realizar.

En función de datos obtenidos mediante pluviómetros organismos como el CIRSA, hidráulica, etc., vienen obteniendo datos de las lluvias. Con estos datos y en base a algoritmos estadísticos confeccionan:

Curvas → Recurrencia → Intensidad de lluvia .

De estas curvas con la recurrencia ya definida se obtiene la **intensidad de diseño**.

4.5.1.3 Calculo de caudales.

- Con la determinación del área de aporte, con la rugosidad y la recurrencia, y mediante el empleo de tablas empíricas, se obtienen las velocidades de escurrimiento y finalmente los caudales de cada sub-cuenca.
- Con los caudales y velocidades, se obtienen los tiempos de escurrimiento, es decir el tiempo que tarda cada caudal en llegar hasta la sección en estudio. Finalmente, sumando los valores de los caudales que lleguen al punto en el mismo instante, los proyectistas obtendrán el máximo caudal que deberá evacuar la obra.
- Determinado el caudal máximo, se podrá deducir la sección necesaria de la obra de arte.

4.5.2: Calculo del caudal a partir de Perfiles transversales

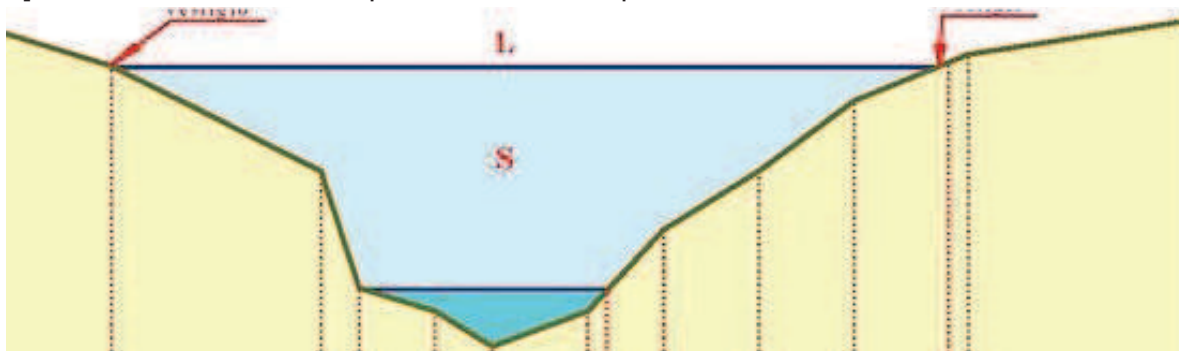
1. En primer lugar habrá que levantar un perfil longitudinal por el eje de vaguada del río, o deducirlo a partir de la medición de perfiles transversales, al menos 500m aguas arriba de la sección de estudio, y en caso de ser una pendiente muy baja ($< 1.5\%$), será necesario relevar también al menos unos 300m aguas abajo.

2. Calcular la pendiente media del curso.

3. Levantar tres o más perfiles transversales, a fin de calcular la sección del agua, elegida en los lugares en que se manifiesten claramente los vestigios (o línea de resaca) producto de las crecientes máximas normales.

Siempre además, conviene asesorarse con los lugareños o consultar a los nativos, hasta donde llegó la creciente.

4. Procesado el perfil transversal, calculamos la sección **S** y la longitud del pelo de agua **L** [m], o sea el ancho de la superficie libre del líquido.



5. Calculamos la velocidad que tendrá la correntada del agua, en el momento que alcance el nivel de máxima creciente, podemos hacerlo a través de los algoritmos ya vistos, aplicando para el cálculo del coeficiente **C**, el clasificador N° 10 de Bazin ó el valor N° 7, de las fórmulas de Manning; sin embargo para ser más específicos conviene aplicar el algoritmo de Hermanek; el cual es el que más usualmente se emplea en estos casos.

6. Calculamos el tirante medio haciendo:

$$H_m = S / L$$

7. Aplicamos la fórmula de **HERMANEK** para el cálculo de la velocidad:

$$V = 30.7 H_m \cdot \sqrt{i} \dots\dots\dots \text{para un valor de: } H_m < 1.5 \text{ m}$$

$$V = 34 (H_m)^{3/4} \cdot \sqrt{i} \dots\dots\dots \text{para un valor de: } 1.5 \text{ m} < H_m < 6 \text{ m}$$

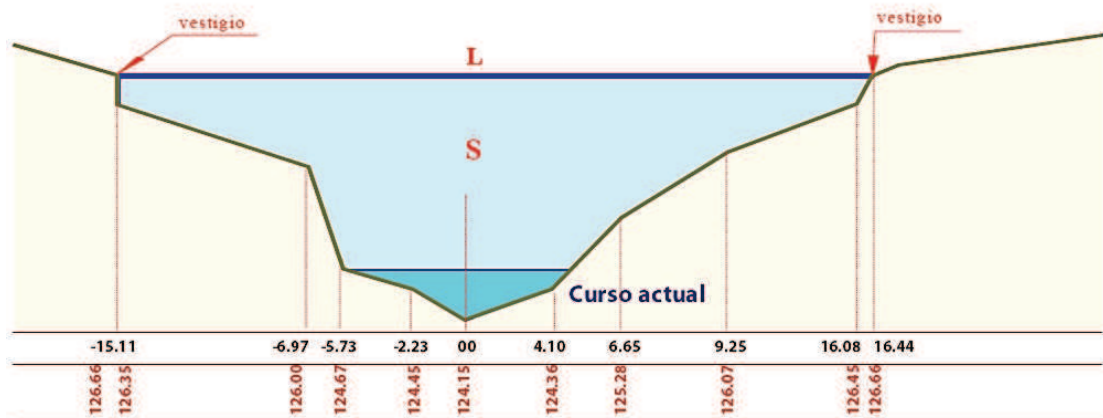
$$V = (50.2 + 0.5 H_m) \cdot \sqrt{(H_m \cdot i)} \dots\dots\dots \text{para un valor de: } H_m > 6 \text{ m}$$

8. Conocida el área del líquido en el momento de la máxima creciente S, y determinada su velocidad V en ese mismo instante, estamos en condiciones de calcular el caudal del río.

$$Q = S \cdot V$$

Finalmente, adoptaríamos el promedio de los caudales calculados y éste resultado, debería ser muy semejante, al calculado por el proyectista mediante el estudio de la cuenca

Ejercicio: calcular el caudal de un río, utilizando el algoritmo de Hermanek, cuya Sección surge del croquis y la pendiente longitudinal es: $i = 0.2\%$



1. Calculamos la sección S: 38.087 m²
2. Calculamos la longitud del pelo de agua L: 31.55 m
3. Calculamos el tirante medio: $H_m = S / L$: 1.207 m
4. Aplicamos la fórmula de HERMANEK para el cálculo de la velocidad:
5. $V = 30.7 H_m \cdot \sqrt{i} \dots\dots\dots$ para un valor de: $H_m < 1.5 \text{ m} \rightarrow V: 1.65 \text{ m/seg}$
6. Conocida el área del líquido en el momento de la máxima creciente S y determinada su velocidad V, en ese mismo instante, calculamos el caudal del río. $Q = S \cdot V =: 63.12 \text{ m}^3/\text{seg}$

4.6. Cálculo de la distancia L

Ya vimos antes, que otro interrogante que se nos suele plantear es el siguiente: Conocido un caudal prefijado, determinar la longitud de la línea del pelo del agua (L), para calcular la posición de los dos puntos extremos, que definirán la línea de costa.

Este valor de caudal que disponemos como dato, puede corresponder al de la creciente máxima extraordinaria, al menor caudal histórico, al de la media de las máximas ordinarias, etc. De igual modo obtendremos como resultado la línea de costa correspondiente a las máximas crecidas normales, extraordinarias, etc. De ese modo se podrá prever (entre otras cosas) hasta donde llegará el agua en una creciente determinada, o ante el supuesto de rotura de una presa.

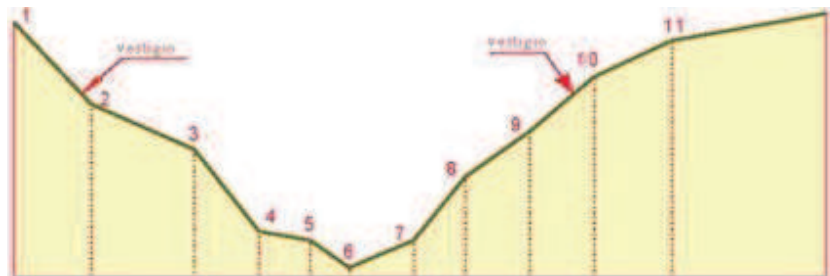
De la expresión $Q = S \cdot V$ conocemos el valor del caudal Q, provisto por alguna repartición pública, o proveniente de alguna estación de aforo ubicado aguas arriba del río.

El valor que estamos buscando está integrado en el primer factor del segundo miembro, estrechamente ligado al segundo factor el cual es una variable dependiente de la primera. Por tal motivo, y por ser la sección un polígono irregular, no nos permite poder plantear una ecuación de solución, sino que habrá que arribar al resultado mediante aproximaciones sucesivas:

Procedimiento

1. tareas de **Campaña**:

Se levanta un perfil transversal al eje del río, en el lugar (o en los lugares) donde se desea determinar los puntos hipotéticos de encuentro entre el perfil del terreno con la línea L del pelo del agua.



En el caso que se necesite determinar el valor de L correspondiente a la máxima crecida, el levantamiento del perfil deberá extenderse hacia ambos lados, superando los vestigios que existan en el terreno dejados por las máximas crecidas.

2. realizado en **Gabinete**:

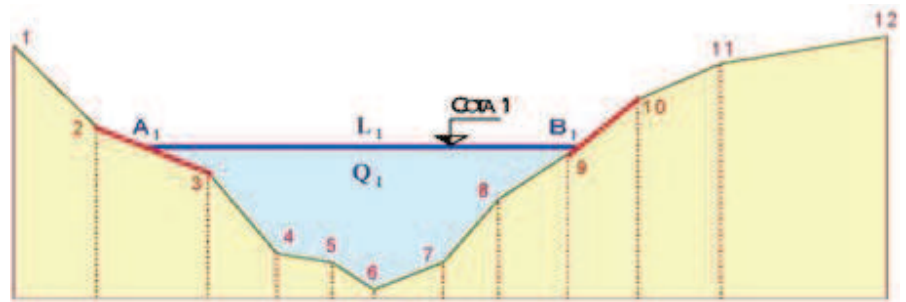
2.a) Se adopta una cota tentativa de pelo de agua, con lo cual queda definida la ecuación de una recta

$$z = a x + b.$$

Donde al ser la pendiente nula, nos quedará: $z = b = (\text{cota } 1)$

2.b) Se determinan las intersecciones de esta recta con las rectas que le correspondan en el perfil transversal.

En el esquema: Los puntos A y B son las intersecciones de la recta pelo de agua de cota 1, con las rectas 2-3 y 9-10 del perfil transversal.



2.c) Realizamos el cálculo del caudal correspondiente a esta sección (Q_1) y lo comparamos con el caudal prefijado.

Seguramente no habremos alcanzado el valor correcto, tendremos un

$$\Delta Q = Q - Q_1 ;$$

$$\text{luego: } \Delta Q = \Delta S \cdot V$$

si suponemos la velocidad constante:

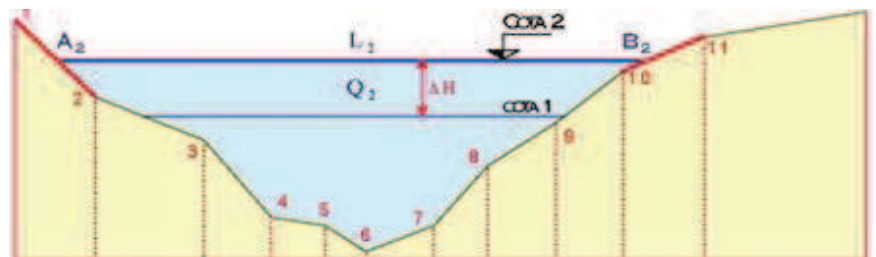
$$\Delta S = \Delta Q / V.$$

$$\Delta S = L \cdot H_m$$

si suponemos $L_2 \approx L_1$: entonces podemos despejar $\Delta H = \Delta S / L$.

2.d) volvemos a repetir el procedimiento arriba analizado, fijando un nuevo valor a la cota del pelo de agua, ahora será:

$$\text{Cota 2} = \text{Cota 1} + \Delta H.$$



2.e) Realizamos las nuevas intersecciones que en nuestro esquema corresponden a las rectas 1-2 y 10-11.

2.f) Calculamos la nueva sección y calculamos el caudal Q_2 .

Repetimos esta operación hasta encontrar el valor del caudal buscado, como resulta difícil llegar al valor exacto, detenemos nuestras aproximaciones, cuando el valor calculado se encuentre por arriba del intervalo de confianza que nos hayamos fijado.

Línea de Costa:

Una vez determinada la longitud de línea de pelo de agua L , si ubicamos en una planimetría la posición de los dos puntos extremos del segmento, puntos A_2 y B_2 , habremos definido dos puntos pertenecientes a la línea de costa. Uniendo todos los puntos extremos de los

segmentos L determinados en cada perfil transversal, quedará definida la poligonal **línea de costa** para un caudal prefijado.

4.7. Determinación de la LÍNEA DE RIBERA

Una de las tantas aplicaciones que tiene la determinación de la línea de costa en los ríos, es la determinación de la **LÍNEA DE RIBERA**, que como bien se sabe, **es el límite que en los ríos deslinda la propiedad pública del Estado, de la propiedad privada.**

4.7.1. Según Código Civil (de los Derechos Reales) “... Libro 3° del -Título I (de las cosas consideradas en sí mismas o en relación a los derechos)...

Artículo 2339: Las cosas son bienes públicos del Estado general que forma la Nación, o de los Estados particulares de que ella se compone, según la distribución de los poderes hecha por la Constitución Nacional: o son bienes privados del Estado general o de los Estados particulares.

Artículo 2340: Son bienes públicos del Estado general o de los Estados particulares:

1° Los mares adyacentes...etc.

2° Los mares interiores...etc.

3° Los ríos y sus cauces y todas las aguas que corren por cauces naturales...”

“..**Libro 3°-Título V** (del dominio de las cosas y modos de adquirirlo) **Capítulo III** (accesión): ... cuando alguna cosa mueble o inmueble acreciere a otra por adherencia natural o artificial...”

Artículo 2572: del Aluvión: son accesorios de los terrenos confinantes con la ribera de los ríos, los acrecentamientos de tierra que reciben paulatina e insensiblemente por efectos de las corrientes de agua y pertenecen a los dueños de las heredades ribereñas. Siendo en las costas del mar o de ríos navegables, pertenecen al Estado.

Artículo 2573: Pertenecen también a los ribereños los terrenos que el curso de las aguas dejare a descubierto, retirándose insensiblemente de una de las riveras hacia la otra.

Artículo 2574: El derecho de aluvión no corresponde sino a los propietarios de tierras que tienen por límite la corriente del agua de los ríos o arroyos; pero no corresponde a los ribereños de un río canalizado y cuyas márgenes son formadas por diques artificiales.

Artículo 2575: Si lo que confina con el río fuere un camino público, el terreno de aluvión corresponderá al Estado o a la Municipalidad del lugar, según que el camino corresponda al municipio o al Estado.

Artículo 2576: La reunión de tierra no constituye aluvión, por inmediata que se encuentre a la ribera del río, cuando está separada por una corriente de agua que haga parte del río y que no sea intermitente.

Artículo 2577: tampoco constituyen aluvión las arenas o fangos que se encuentran en los límites del lecho del río, determinado por la línea a que llegan las más altas aguas en su estado normal.

Artículo 2581: el terreno de aluvión no se adquiere sino cuando está definitivamente formado, y no se considera tal sino cuando esta adherido a la ribera y ha cesado de hacer parte del lecho del río.

Artículo 2582: Cuando se forma un terreno de aluvión a lo largo de muchas heredades, la división se hace entre los propietarios que puedan tener derecho a ella, en proporción del ancho de cada una de las heredades presentes sobre el antiguo río....”

4.7.2. Fijación de Línea de Ribera y Restricciones al Dominio -Prov. de Buenos Aires.

- LEY 6253/60 : Conservación de los desagües naturales
- DECRETO 11368/61 : Reglamentación de la Ley 6253/60
- DECRETO-LEY 8912/77 : Ordenamiento territorial y uso del suelo
- LEY Nº 12257 : Código de Aguas de la Pcia. de Buenos Aires
- DECRETO 3.511 / 2007 : Reglamentación del Código de Aguas

4.7.2.1. Ley 6253/60 : Conservación de los Desagües Naturales

Artículo 1. Denomínase a la presente “**Ley de Conservación de los Desagües Naturales**”.

Artículo 2. Créanse “Zonas de conservación de los desagües naturales” que tendrán un ancho mínimo de cincuenta (50) metros a cada lado de los ríos, arroyos y canales, y de cien (100) metros en todo el perímetro de las lagunas.

En caso de desborde por crecidas extraordinarias, esta zona se extenderá hasta el límite de las mismas.

Artículo 3. Prohíbese dentro de las zonas a que se refiere el artículo anterior variar el uso actual de la tierra y sólo se permitirá ejecutar las obras y accesorios que sean necesarias para su actual destino o explotación.

El Poder Ejecutivo estimulará el desarrollo de forestaciones con especies aptas para la región que contribuyan a crear una defensa para la conservación del suelo, protección contra las avenidas u otros fines similares o a la creación de paisaje rural.

Artículo 4. Cuando los planes reguladores establecieran la necesidad imprescindible de levantar la restricción en algún lugar de la zona de conservación de los desagües naturales, deberán previamente efectuarse a criterio del Poder Ejecutivo las obras necesarias para asegurar condiciones de seguridad y sanidad.

Artículo 5. Prohíbese efectuar toda clase de construcciones a nivel inferior al de las máximas inundaciones en las “zonas de conservación de los desagües naturales”, donde total o

parcialmente se haya subdividido la tierra, en lotes urbanos, y hasta tanto se habiliten obras que aseguren las mínimas condiciones de seguridad y sanidad.

Artículo 6. El Poder Ejecutivo determinará las “zonas e conservación de desagües naturales” y solicitará de las municipalidades, que establezcan las cotas mínimas de las construcciones a que se refiere el artículo anterior.

Artículo 7. Comuníquese al Poder Ejecutivo.

4.7.2.2. Decreto 11368/61 (Reglamentario de la Ley 6253/60)

Artículo 1. A efectos de la aplicación de 1a Ley 6253 entiéndese por arroyo o canal todo curso de agua cuya **cuenca tributaria supere las 4.500 hectáreas**

Artículo 2. Cuando de la subdivisión de un inmueble resulten parcelas, cuya superficie supere las diez (10) hectáreas no será necesario prever, en éstas, la zona de “Conservación de los desagües naturales” debiéndose dejar expresa constancia en los planos definitivos de subdivisión que no se podrá levantar edificación estable en una franja de cien (100) metros de ancho como mínimo, hacia ambos lados de borde superior del cauce ordinario del arroyo, canal, río o laguna

Artículo 3. En los casos previstos en el artículo 4º de la Ley 6253, los interesados deberán presentar, además de la documentación común, dos copias de la subdivisión proyectada en la que conste la certificación de que la misma se ajusta a lo establecido en el “Plan Regulador” del municipio respectivo. Cuando sea necesaria la ejecución de obras, a efectos de asegurar las condiciones de seguridad y sanidad, deberá someterse el proyecto respectivo a consideración del Ministerio de Obras Publicas (Dirección de Hidráulica)

Artículo 4. A efectos de cumplimentarlo establecido en los artículos 5º y 6º de la Ley 6253 el Ministerio de Obras Publicas (Dirección de Hidráulica) colaborara con los municipios respectivos en la fijación de las cotas mínimas de los pisos de las construcciones permanentes. Las obras de sustentación, no podrán constituir un obstáculo al libre escurrimiento de las aguas.

En las Secciones de Islas del Delta del río Paraná no se establecerán “Zonas de conservación de los desagües naturales”.

Artículo 5. En los ríos, arroyos, canales y lagunas, cuando la zona de “conservación de los desagües naturales”, determinada por desbordes extraordinarios, supere los cien (100) metros de ancho; podrá reducirse dicha zona a esta última magnitud, contada a partir del borde superior del curso ordinario, siempre que se efectúen obras de relleno aprobadas por el Ministerio de Obras Públicas (Dirección de Hidráulica).

Artículo 6. En los casos de cursos de agua con agua con cuenca tributaria inferior a 4.500 hectáreas se observarán las siguientes normas;

1º: Cuando en los mismos no se realicen obras de canalización que aseguren el perfecto desagüe de la zona de influencia deberá dejarse en toda subdivisión, una franja de ancho mínimo de treinta (30) metros, a contar de los respectivos bordes del curso ordinario, que se extenderá hasta donde hayan llegado las aguas por crecidas extraordinarias, sobre la cual no se permitirá variar el uso de la tierra

2º: Cuando sobre el curso de agua, siempre que el tramo en estudio no se encuentre influido por el canal receptor, se proyecten obras de conducción y/o rectificación, estas deberán coincidir con el eje de una calle, descartándose cualquier otra solución.

El dimensionado de la sección de escurrimiento se hará en base al caudal máximo que resulte de la aplicación del “Método Racional” o de cualquier otro de eficacia igualmente reconocida, para un coeficiente de escorrentía que corresponda al estado actual de la cuenca tributaria, debiendo preverse las siguientes reservas:

- a) Una zona de desagüe cuyo eje de simetría coincida con el de la canalización proyectada y cuyo ancho, variable, resultara de considerar el caudal que ingresa y que egresa de la fracción, que se calculara con un coeficiente de escorrentía que contemple las necesidades futuras y que en ningún caso será menor de 0,15, manteniendo constante la pendiente y el tirante que sirvieron de base al cálculo de la referida canalización
- b) Calles de quince (15) metros de ancho mínimo, paralelamente y a ambos lados de la zona canal.

Artículo 7. Cuando la canalización sea totalmente entubada tendrá que efectuarse un detallado análisis del coeficiente de escorrentía a utilizar, que en ningún caso será menor de 0,15.

En estos casos son exigibles asimismo las previsiones relativas a reservas establecidas en el apartado 2º del artículo 6º, salvo que situaciones de hecho aconsejen lo contrario.

Artículo 8. Previa notificación al Señor Fiscal de Estado, comuníquese, publíquese, dese al Registro y Boletín Oficial y pase a la Dirección de Hidráulica para su conocimiento y demás efectos.

4.7.2.3. Decreto-Ley 8912/77 - Ley de Ordenamiento Territorial y Uso del Suelo

Artículo 59º. (Decreto Ley 10128/83 modificadorio de la Ley 8912/77)

Al crear o ampliar núcleos urbanos que limiten con cursos o espejos de agua permanentes, naturales o artificiales, deberá delimitarse una franja que se cederá gratuitamente al Fisco Provincial arbolada y parqueada, mediante trabajos a cargo del propietario cedente si la creación o ampliación es propiciada por el mismo.

Tendrá un ancho de cincuenta (50 m) metros a contar de la línea de máxima creciente en el caso de cursos de agua y de cien (100 m) metros medidos desde el borde en el caso de

espejos de agua. El borde y la **línea de máxima creciente serán determinados por la Dirección Provincial de Hidráulica**. Asimismo, cuando el espejo de agua esté total o parcialmente contenido en el predio motivo de la subdivisión se excluirá del título la parte ocupada por el espejo de agua, a fin de delimitar el dominio estatal sobre el mismo. A los efectos de este artículo la zona del Delta del Paraná se regirá por normas específicas.

4.7.2.4. Ley Nº 12257 Código de Aguas de la Prov. de Buenos Aires

Línea de Ribera. Fijación.

Artículo 18º. La **Autoridad del Agua fijará y demarcará la línea de ribera** sobre el terreno, de oficio o a instancia de cualquier propietario de inmuebles contiguos o de concesionario amparados por el Código de Aguas. Si la demarcación se realizare de oficio, será a cargo del Estado y si lo fuere a petición de parte, a su exclusivo cargo. Se considerará **crecida media ordinaria a aquella que surja de promediar los máximos registrados en cada año durante los últimos cinco años**. A falta de registros confiables se determinará conforme a criterios hidrológicos, hidráulicos, geomorfológicos y estadísticos evaluados a la luz de una sana y actualizada crítica.

Publicidad

Artículo 19º. Determinada por la Autoridad del Agua, según el artículo anterior las cotas de ribera, se citará personalmente al propietario del fundo a demarcar, a los colindantes del fundo a demarcar y a los propietarios de la ribera opuesta y, por edictos a publicarse por dos veces en quince días en el "Boletín Oficial", a quien se considere con interés legítimo a objetar la demarcación. En las notificaciones se anunciará el día, la hora y el lugar donde comenzarán las operaciones y el nombre y dirección del profesional que las efectuará. Se notificará a la Autoridad Catastral Territorial a los efectos que correspondan.

Demarcaciones.

Artículo 20º La demarcación se hará conforme a las instrucciones que imparta la Autoridad de Aplicación, que dejará constancia de las observaciones que formulen los terceros que presencien las operaciones. La Autoridad del Agua dará vista del informe sobre la demarcación por el término de diez días a quien invoque su interés. Las objeciones podrán formularse dentro del término de diez días, contados a partir del vencimiento del plazo indicado en el párrafo anterior.

Alteraciones de la línea de ribera

Artículo 21º Cuando la línea de ribera cambiase por causas naturales o acto legítimo, la Autoridad del Agua procederá a una nueva fijación y demarcación.

4.7.2.5. Decreto 3.511 / 2007 Reglamentación del Código de Aguas

Artículo 18: Línea de ribera. Fijación.

Se define la **línea de ribera como una sucesión de puntos que determinan las altas mareas normales o las crecidas medias ordinarias**.

La fijación de la línea de ribera marítima y del Río de la Plata se hará en base a la posición que alcancen las aguas de las altas mareas normales.

La fijación de la **línea de ribera fluvial y lacustre se hará en base a la posición que alcancen las aguas en las crecidas medias ordinarias.**

Para la determinación de las altas mareas normales y las crecidas medias ordinarias, la Autoridad del Agua utilizará, además de la serie indicada en el párrafo tercero del artículo, todas las series hidrométricas confiables y disponibles, representativas del comportamiento hidráulico, y toda la información y la metodología académicamente aceptada, necesaria para obtener la fijación de la línea de ribera más exacta posible.

Artículo 19: Publicidad

Corresponderá, asimismo, publicar la citación a quien se considere con interés legítimo a objetar la determinación de la línea de ribera en un diario o periódico de amplia circulación en la zona.

Artículo 20: Demarcaciones Sin reglamentar

Artículo 21: Alteraciones de la línea de ribera

Para el supuesto de alteraciones de la línea de ribera que no tenga origen en causas naturales o en acto legítimo, corresponderá declarar la clandestinidad de lo obrado e intimar al propietario o responsable a la realización de los trabajos necesarios para restituir, a su costa, las cosas a su estado natural o anterior.

4.7.3. Determinación de la Línea de ribera.¹²

El problema de riberas se plantea en los siguientes términos: es preciso determinar la **línea divisoria legal entre ríos o arroyos propiedad pública del Estado y los predios particulares colindantes con los mismos.** En otros términos debe calcularse la altura que alcanzan las aguas y el ancho que ocupan cuando el cauce soporta el caudal medio de los máximos normales, excluidos los correspondientes a crecientes extraordinarias. En pro de la solución del problema planteado, es necesario procurar el conocimiento de los siguientes elementos básicos:

a) Planialtimetría del cauce y zonas circunvecinas en una longitud no inferior a 1000m.

Su obtención se lleva a cabo utilizando la taquimetría clásica, apoyada en una poligonal aproximadamente paralela al cauce en todos sus tramos. Esta poligonal deberá reunir las siguientes condiciones: sus vértices serán firmemente amojonados y luego nivelados en ida y vuelta; por lo menos dos de sus vértices se avalizarán de ser posible, respecto de 4 puntos fijos notables. Se hará un cierre de la poligonal siguiendo un camino cualquiera. A este efecto, incluso con fines de su posterior ubicación y eventual restitución se sugiere la

¹² Publicación Técnica N°2 Líneas de Riberas -Agrim. Adolfo Alvarez- Colegio de Agrimensores e Ing.Geógrafos de San Juan

conveniencia de hacer que la poligonal básica forme parte de la poligonal de rodeo de la propiedad, cuando la línea de ribera se determine con el fin de mensurar la misma. Esta poligonal servirá de apoyo para el relevamiento planialtimétrico de la zona de estudio, el que deberá incluir alambrados y cercos existentes, caminos, puentes y vías férreas vecinas, construcciones aledañas, barrancas y rastros ribereños del paso de las aguas, etc.

NOTA: Para evitar los problemas derivados de un río crecido, la determinación de líneas de riberas debe efectuarse en épocas de estiaje, en que el caudal se reduce al mínimo.

b) Perfiles transversales del cauce cada 20 a 25 metros (máx. 50m)

Estos perfiles que servirán para determinar las secciones de pasaje para el caudal Q , son fundamentales para la posterior aplicación del método que aquí se desarrolla. El relevamiento taquimétrico de los mismos, apoyados en los lados de la poligonal básica, se efectuará trazándolos normalmente a esos lados. Los puntos que correspondan a cada perfil serán tantos como lo exijan las características altimétricas, más o menos accidentadas del lecho. La elección de esos puntos queda supeditada al criterio topográfico del profesional actuante, el que deberá estaquear todos aquellos que sean posibles, incluso el correspondiente al cruce del perfil con el lado poligonal de apoyo.

Cada perfil relevado debe abarcar, y aún rebasar el ancho del cauce hacia ambas márgenes. Su desarrollo debe incluir los puntos marginales del ancho de la superficie libre del líquido, y además un punto importante del río, el correspondiente al lugar más profundo del lecho, que debe buscarse con la mira aún dentro del agua. Este punto pertenece a una línea característica del lecho denominada “Línea o eje de vaguada”; que se obtendrá en el dibujo como una línea quebrada al unir entre sí los puntos de mayor profundidad correspondientes a cada perfil. Línea de vaguada es sinónimo de “talweg”, conocida también como “línea de valle” o “línea de recogida” porque a ella concurren las líneas de máxima pendiente de la cuenca considerada, como tendiendo a “encausarse” según esa línea cartográfica característica que es la antítesis de la “línea dorsal” o “divisoria de las aguas”, de la cual divergen las líneas de máxima pendiente.

Con tales elementos debe procederse al cálculo y dibujo de la planimetría general y de los perfiles transversales a una escala adecuada para las determinaciones gráficas de distancias. Para ello se adapta la escala 1:1000 u otra mayor. En cuanto a los perfiles, conviene dibujarlos sobrealzados a fin de destacar la altimetría, y así facilitar luego las operaciones posteriores que, por procedimientos gráficos se realizarán sobre ellos.

c) Perfil longitudinal de la línea de vaguada.

Este perfil sobrealzado, cuyo dibujo se realiza en la misma escala que los perfiles transversales, nos permite calcular las pendientes medias (i) del cauce.

d) Caudal medio de los máximos normales (Q)

Este dato es fundamental para nuestro calculo posterior, puede obtenerse de la estadística de aforos que debe suministrar el organismo estatal encargado de la administración de los cursos de agua. En su defecto, la determinación del caudal debe realizarse en base a la carta topográfica de la cuenca del río y sus afluentes, y la estadística de las precipitaciones medias anuales, mediante la aplicación de una fórmula empírica denominada de “Burkli-Ziegler”.

De las estadísticas de aforos mencionadas es importante excluir los datos de caudales que provengan de crecientes o de bajantes extraordinarias. Con ello se da cumplimiento a las disposiciones del Código Civil art. 2577.

A los efectos de solucionar nuestro problema, recordaremos que el caudal que pasa por una sección normal de un cauce responde a la fórmula: $Q = S \cdot V$, donde S es la superficie de la sección normal de la corriente de agua y V es la velocidad media del líquido a su paso por dicha sección. Para el cálculo de V existe una fórmula moderna, utilizada para grandes cauces naturales, conocida como “formula de **Hermanek**” cuya expresión es la siguiente:

$$V = k' \sqrt{h} \cdot i,$$

en el cual “i” es la pendiente media por metro, de la línea de vaguada en la sección en estudio;

k' es un coeficiente variable cuyo valor se calcula con ayuda de las fórmulas:

$$\begin{aligned} k' &= 30.7 \sqrt{h} && \text{para } h < 1.5 \text{ m} \\ k' &= 34 \sqrt{h} && \text{para } 1.5 \text{ m} < h < 6 \text{ m} \\ k' &= (50.2 + 0.5 h) \cdot \sqrt{h} \cdot i && \text{para } h > 6 \text{ m} \end{aligned}$$

a su vez, $h = S / L$ (profundidad media adoptada)

donde L es la longitud del pelo de agua en la sección transversal considerada, o ancho de la superficie libre del líquido; y con ello aplicar la fórmula de Hermanek.

El producto de S por V así obtenido, debe coincidir con el valor de Q. Ello generalmente no ocurre en la primera tentativa, pero si se logra en sucesivos tanteos ejecutados por el mismo procedimiento. Se considera alcanzado el objetivo cuando el resultado difiere con Q en no más de un 3% como máximo. Ello es lógico aceptarlo así si se tiene en cuenta que todo el método, como cualquier otro que se intente, sólo es de resultados aproximados. En él hay errores acumulados propios del relevamiento topográfico, del dibujo, de la imprecisión de las fórmulas hidráulicas; como así también de la determinación del caudal prefijado.

Conseguidos para cada perfil transversal la posición de la línea pelo de agua que corresponda al caudal Q, se miden gráficamente sobre el dibujo del perfil las distancias horizontales existentes entre la poligonal base y los puntos de intersección del perfil del cauce con la línea del pelo de agua puntos de la línea de riberas), además de las distancias desde los mismos puntos a la línea de vaguada.

Obtenidos los datos que permiten la ubicación relativa, respecto de la poligonal base, de los sucesivos puntos de las líneas de riberas de ambos márgenes, se procede a continuación a volcar los mismos sobre el dibujo de la planimetría de la zona en estudio. Las líneas de riberas aparecerán así en el plano representadas por líneas quebradas, tanto más sinuosas cuanto más cercanos entre sí se tomen los perfiles transversales. No hay razón valedera que mueva a adoptar como definitivas tales líneas que solo introducen irregularidades en el linde, además del trabajo que representa su replanteo. Es preferible reemplazarlas por una poligonal de lados más largos.; enlazados entre sí por alineamientos curvos entre tramos de inflexión notable. Este reemplazo, debe hacerse gráficamente, con criterio compensador de superficies en forma estimativa, de modo tal que una fracción de tierra quitada a un propietario por la línea compensadora, se vea compensada por otra fracción equivalente que se le adjudique por el nuevo trazado. **Tales líneas rectificadas son las que se adoptan como líneas de riberas definitivas**, debidamente autorizadas por los propietarios de los fundos colindantes y por el Estado por intermedio de la oficina autorizada para ello.

Finalmente se procede al replanteo y amojonamiento de las líneas de riberas en el terreno, controlando en todos los vértices que hayan quedado enfrentados que se cumpla la condición de tener la misma cota.

4.8. Determinación del PERILAGO ¹³

La poligonal límite que separa la propiedad pública y privada en lagos y lagunas, se denomina **Perilago**.

Suponiendo con muchísima aproximación, que la superficie de la laguna es una superficie equipontencial, en ese caso resulta evidente que la línea de costa es una “curva de nivel”, cuyo valor es el de la cota del vertedero.

A ese valor, se le adiciona una altura de resguardo, el cual surge de calcular el máximo caudal de embalse, que corresponde a una crecida extraordinaria de 100 años de recurrencia. Esta nueva cota así definida determina una nueva curva de nivel, la curva del perilago.

Por ejemplo, en el Lago San Roque, la cota 35 es la altura del vertedero, y la cota 38 es la cota de perilago.

En los lagos naturales, replanteando en el terreno esta línea curva, “curva de nivel”, se materializa el límite buscado.



¹³ Topometría y Microgeodesia. Ing. Agrim. A. del Bianco. Dpto. FCEFyN - UNC

En los lagos artificiales, antes de llenarse el embalse existe un parcelamiento, por lo tanto es necesario definir esta línea curva a los efectos de llevar adelante las expropiaciones, pero al realizar los análisis de los excedentes, y al combinarse expropiaciones parciales con totales, la línea curva original del perilago, se transforma en una línea quebrada.



4.9. Determinación de la Línea de Costa Marítima.

En un sin número de obras de Ingeniería, que se desarrollan sobre los terrenos que lindan sobre el mar, (puertos, defensas de costas, plantas de tratamientos de líquidos clocales, plantas de tratamiento de hidrocarburos y sus derivados, etc.).

O que se encuentran ubicadas en las áreas de explotación marítimas (plataformas marinas de extracción de petróleo, emisarios, instalaciones de conducción, etc); ya sea que se trate de un levantamiento que sirva de base a un proyecto, o se trate del replanteo de obra en ejecución, se hace necesario siempre, determinar previamente la línea de costa marítima. La línea de Costa no solo es el límite que deslinda la propiedad pública de la propiedad privada, sino que también (con algunas modificaciones) es la línea base, a partir de la cual se aplican los derechos internacionales del mar.

Por supuesto que toda operación de mensura, sea esta particular, administrativa, etc. O una mensura para exploración y/o explotación de hidrocarburos, es necesario definir la Línea de Costa Marítima.

El Decreto 8546, del Poder Ejecutivo Nacional dice:

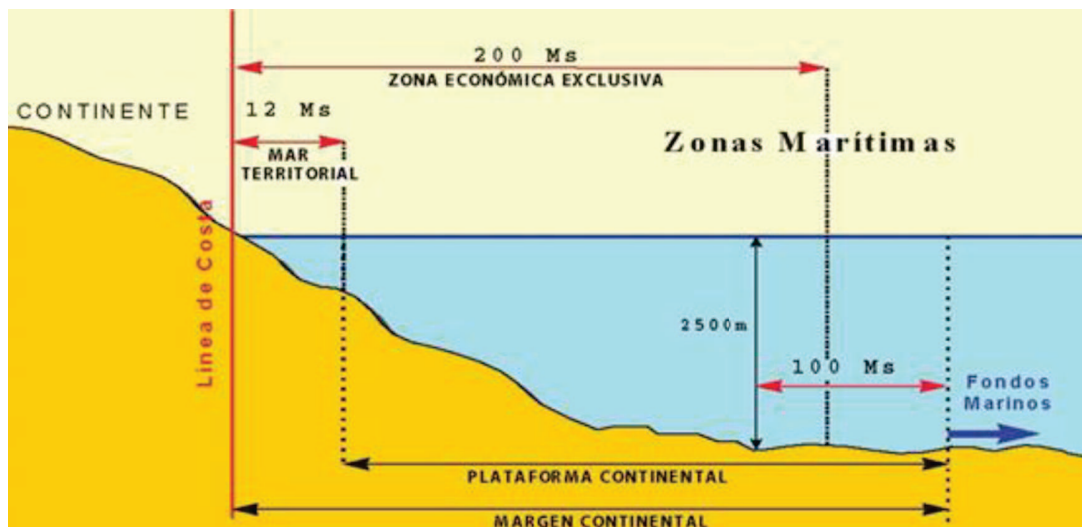
“... Art. 16: Para el deslinde que corresponda a una línea de costa marítima, se to mará la de **bajamar de sicigias equinocciales**...”

Y el Decreto 250 que lo reglamenta, correspondiente al Ministerio de Obras y Servicios Públicos dice:

“... Art. 20.1: **Cuando alguno de sus límites coincida con la línea de costa, se utilizará la línea correspondiente a la bajamar de sicigias equinocciales. Dicha línea se determinará tomando como base la cartografía y tablas de mareas editadas por el Comando en Jefe de la Armada Servicio de Hidrografía Naval...**”

Siempre que se trate de la determinación de la Línea de Costa Marítima, cuyos fines implique la determinación jurídica de un límite, como por ejemplo determinar la faja

correspondiente al Mar Territorial o la plataforma Continental, se deberá definir la poligonal correspondiente a la **bajamar de sicigias equinocciales**.



La Línea de Costas, es una poligonal que en la parte continental va siguiendo las irregularidades de la costa.

En ríos, estuarios y bahías, es una línea recta que une los extremos de la costa. Esta línea de base recta, separa el Mar Territorial de los mares interiores.



Sin embargo en muchos casos, no interesa el límite legal, sino que como ocurría en la obras fluviales interesa conocer la línea de costas definida por la máxima altura que puede alcanzar el agua, en otras palabras, en la mayoría de las obras de ingeniería importa la determinación de la máxima de la **pleamar**, la cual ocurre también en Sicigia equinoccial.

SISIGIAS

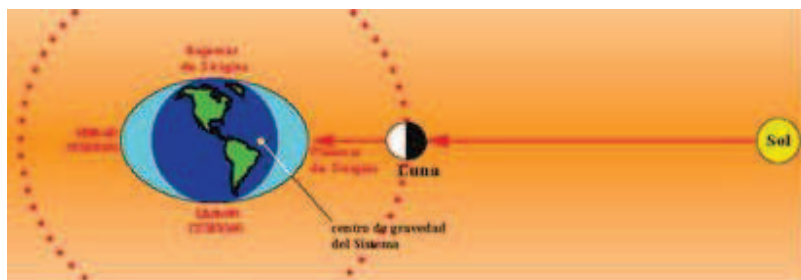
Ya vimos que la marea viva se produce cuando el Sol, la Luna, y el centro de gravedad de la tierra se encuentran alineados, es decir en **conjunción u oposición**, de tal forma que la suma de los efectos gravitatorios es máxima. Y esto ocurre cada vez que la luna se encuentra en luna llena o luna nueva.

Por otra parte, la máxima de todas las máximas pleamar (y bajamar), se produce cuando la distancia tierra-sol es mínima, y ello ocurre en el paso del planeta por los equinoccios.

De tal forma que el Agrimensor que desea fijar la Línea de Costa, debería consultar la tabla de mareas editada por Hidrografía Naval y determinar según corresponda:

- la media de la pleamar de sicigias equinocciales
- la media de la bajamar de sicigias equinocciales

La pleamar de **Sicigias** no se produce en el instante preciso de la conjunción, sino que



debido al rozamiento que produce la masa de agua al moverse, sumado al efecto de choques de ondas, (la pleamar o la bajamar) generalmente se atrasa entre 24 hs. y 48 hs.

Pero ocurre que el Servicio de Hidrografía Naval, solo lleva un registro estadístico de observaciones puntuales, sólo en aquellos lugares que hay instalado un mareógrafo fijo, y por otra parte en el momento de la consulta, en el año 1998, no tenía ningún archivo cargado en base de datos, que permitiera realizar el cálculo de la media mediante el auxilio de un ordenador, por tal motivo, lo más posible es que el Agrimensor deba determinar la línea en base a partir de mediciones realizadas “in situ”.

- Para ello, aplicando la metodología que ya conocemos, deberá determinar la cota (máxima o mínima) de un perfil determinado, ubicado preferentemente en la distancia media del levantamiento, si el levantamiento es muy extenso, conviene realizar dos observaciones, una en cada extremo e interpolar las intermedias. Luego esa cota reproducirla (replantearla), en todos los perfiles a fin de obtener la línea quebrada que representa la línea buscada.
- En caso que el territorio a demarcar la línea de costa sea muy extenso, y exista la presencia de entradas importantes o bahías muy cerradas, en cada una de ellas habrá que efectuar una determinación independiente de la cota.

El Agrimensor realizará las mediciones de alturas, organizadas por series, las cuales incluirá seguramente observaciones nocturnas. Comenzará 24 hs. antes de la conjunción y finalizará 72 hs. después, ya que en nuestras costas oceánicas se atrasa bastante. Por ejemplo, en el estrecho de Magallanes y Canal de Beagle, sicigias ocurre con un atraso de aproximadamente 12 hs., mientras que a la altura de Comodoro Rivadavia tarda aprox. 48 hs., y en el Río de La Plata, el efecto es casi imperceptible, puede confundirse con un levante del pelo del agua debido a fuertes vientos mar adentro (sudestada).

4.10. Replanteo del emisario Mar del Plata.¹⁴

Replanteo y monitoreo de la construcción del emisario marino de 5 Km de longitud. El proyecto incluye además: los levantamientos hidrográficos del lecho marino, la generación de modelos digitales y los cómputos de movimientos de suelos y rellenos).

¹⁴ jefe del Dpto. de Agrimensura de la empresa Roggio SA, UTE, constructora de la planta depuradora de líquidos cloacales de la Ciudad de Mar del Plata. Topometría y Microgeodesia. Ing. Agrim. A. del Bianco. Dpto. FCEyN - UNC

Emisario: Conducto de hormigón armado, enterrado bajo el lecho marino, que conduce por presión líquidos contaminantes mar adentro, hasta una corriente marina que los aleje de las costas.

Objeto. Este trabajo plantea dos objetivos:

1) Por una parte el replanteo permanente y continuo durante aproximadamente un año, de la posición planimétrica de cuatro embarcaciones, tres de ellas en línea.

- Una draga de corte de gran porte
- una segunda draga que realiza la extracción del material suelto
- un pontón que sitúa los caños sobre el lecho marino y realiza la tapada colocando material sobre la tubería.
- Posiciona también, en forma permanente y continua a una lancha hidrográfica

2) Por otra parte, la realización del levantamiento hidrográfico, y el control permanente de la forma y relieve del lecho marino.

Relevamiento batimétrico de los perfiles previos, control de la sección de excavación y finalmente el control del relleno de la zanja.

Cálculos y procesos necesarios para determinar el MDE (modelo digital de elevaciones) del fondo marino, graficación y cómputos de movimientos de material.

1) Posicionamiento de las embarcaciones

A fin de homogeneizar los trabajos, se propone utilizar el mismo sistema de posicionamiento satelital, sistema de referencia y proyección cartográfica, que los que serán empleados por la empresa Belga Jan de Nul, para posicionarse con la draga de corte contratada.

1.a) **Sistema de Posicionamiento:** Se propone utilizar tecnología de posicionamiento satelital, modo DGPS (Differential Global Positioning System), en tiempo real.

1.b) **Sistema de Referencia:** Se empleará el antiguo Sistema de Referencia Nacional Campo Inchauspe 69, por ser todavía el sistema de uso obligatorio requerido por el Servicio de Hidrografía Naval. Para tal fin será necesario rehacer la vinculación del sistema “local” de la obra al sistema general. Este trabajo ya fue realizado por la empresa consultora, sin embargo se estima que éste pudo resultar deficitario, ya que solo fue observado un solo punto IGM y dadas las características de este trabajo, estimamos conveniente observar al menos 3 vértices, para determinar las 7 incógnitas ó parámetros de transformación. De igual modo, es necesario determinar correctamente las coordenadas de arranque en tierra y el rumbo del emisario.

1.c) **Sistema de Proyección.** Se empleará la proyección conforme cilíndrica transversa de Gauss, con las modificaciones introducida por Krüger en la faja de trabajo N°6, cuyo meridiano de contacto resulta ser el de 57° Oeste de longitud.

1.d) **Metodología.** Sobre cada una de las barcas colocaremos un par de antenas, una de las cuales recibe la señal de 4 o más satélites del sistema NavStar (GPS), mientras que una segunda antena recibe la señal de corrección codificada del satélite geoestacionario de la firma OmniStar.

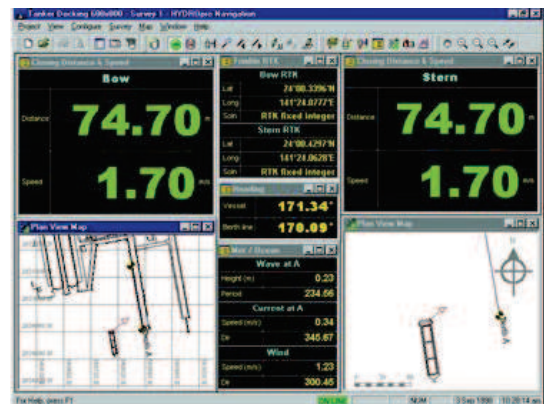


También podríamos recibir señales de corrección Racal, o señales Beacon desde radio faro, sin embargo en este caso preferimos el empleo de la señal OmniStar por ser más segura, más económica y más precisa.

- Un equipo de medición GPS de la marca TRIMBLE, modelo Pathfinder Pro XRS, montado en cada una de las embarcaciones recibe la señal de los satélites y determina la posición geográfica (latitud y longitud) de la antena con una precisión aproximada de 15 m/ 20 m.

- Recibe también la señal OmniStar con las correcciones de los relojes satelitales, de las efemérides y el modelo ionosférico, mediante las cuales corrige la posición del punto móvil, obteniendo una precisión submétrica en la determinación de las coordenadas esféricas.

- Un software de navegación de la marca TRIMBLE, modelo HYDROpro, módulo "Navigation", instalado en un procesador PC Pentium pro, nos permite transformar cada ≈ 2 segundos, las coordenadas geográficas geocéntricas del punto móvil, en coordenadas geodésicas del sistema de referencia Campo Inchauspe '69, e inmediatamente convertirlas a coordenadas planas, en la proyección plana Gauss Krüger (faja 6), y compararlas con la recta "traza del proyecto", informándonos sobre el monitor, la dirección y la distancia que deberán moverse las embarcaciones, para colocarse sobre el eje teórico y sobre la progresiva buscada.



Esta resulta ser una operación muy sencilla, que tan solo se limita a ver sobre la pantalla la posición del barco y leer la distancias, de modo tal que puede ser ejecutada por una persona con poco adiestramiento, es decir que puede ser realizada por el mismo timonel

Es un método que está siempre disponible, en el mismo instante que el piloto decide hacer la maniobra de traslado a una nueva posición.

1.e) **Precisiones.** En la alineación y la determinación de la progresiva: $< \pm 1\text{m}$ No se requiere de mayor precisión, ya que el movimiento de la lancha, que introducen las olas y el viento, suele ser bastante mayor.

2) Levantamiento Hidrográfico

Levantamiento de puntos del lecho marino.

Cada punto relevado será expresado por sus tres coordenadas:

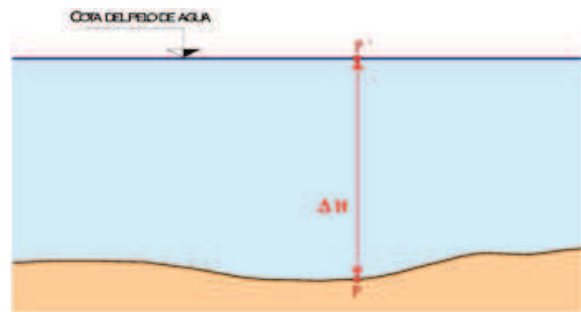
- Dos de ellas (X, Y) que materializan la posición planimétrica, y que se resuelve conforme a lo desarrollado más arriba.
- La tercera coordenada (Z), o la Cota del punto, requiere de un procedimiento especial.

2.a) Determinación de la cota

No es posible la determinación de la cota de un punto sumergido de forma directa, sino que es necesario hacerlo en dos etapas:

- Determinar la profundidad, operación denominada “sondeo”
- Determinar la Cota del pelo de agua.

$$\text{Cota de P} = \text{Cota de P'} - \Delta H$$

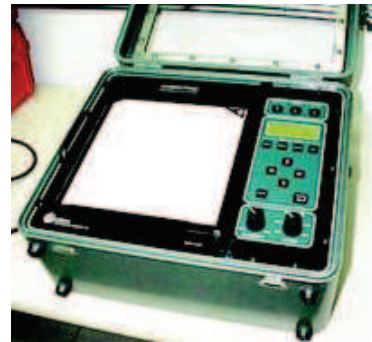


2.b) Determinación del Sondeo

Para la medición de la profundidad, se propone el empleo de una ecosonda digital, que permite registrar de forma gráfica sobre papel y simultáneamente guarda el registro en forma digital en un archivo de datos en una PC.

La ecosonda es de la marca ODOM, modelo Hydrotrac, Digital Echo Sounder HT 97001 -Transducer: SM 200 / 2.75 con capacidad para bajar los datos cada segundo al centímetro.

Registra los datos de forma instantánea, esto es muy importante dada la característica dinámica del mar.



Este equipo calcula la profundidad a partir de la medición del “tiempo” que tarda una onda electromagnética en retornar al transductor (eco), es que resulta necesario calibrarlo modificando en cada serie de mediciones, la velocidad de propagación del sonido en el agua. Para ello es necesario determinar previamente los parámetros que inciden en la velocidad, los cuales son fundamentalmente la temperatura del agua, la salinidad y la profundidad media en la que se va a trabajar (presión hidráulica). De modo tal que este equipo se completa con los accesorios y sensores necesarios para la determinación de la velocidad del sonido en el agua. La sonda Hydrotrac nos permite ajustar el draft con el objeto de determinar directamente la profundidad desde el pelo del agua.-

2.c) Determinación de la Cota pelo de agua

Si fuese una superficie en reposo, sería muy sencilla la determinación de la superficie líquida, sin embargo hay dos factores que están modificando en forma continua tales valores, ellos son el viento y la marea.

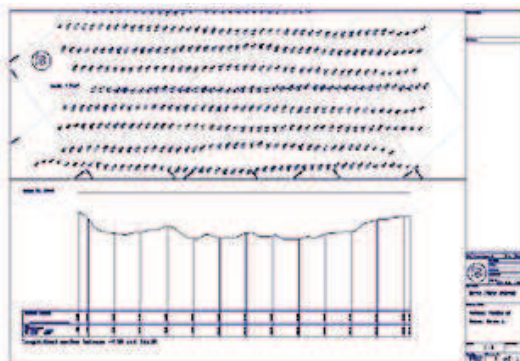
Por lo tanto, para cada instante de observación es preciso ajustar los valores de la cota de pelo de agua con los valores de marea que está actuando en el momento. Para determinar a cada instante los valores de marea, se propone el empleo de un mareógrafo electrónico digital, que permite



transmitir los datos de marea a tiempo real a un receptor ubicado en la lancha hidrográfica y guardarlos secuencialmente en la base de datos del programa HYDROpro. Trabajando a tiempo real permite la corrección de los valores de marea, pero registrando los datos en el software, nos permite además, eso sí trabajando en pos proceso, corregir la dispersión producida por las olas, ya que registra un dato cada segundo.

Proponemos el empleo de un mareógrafo digital marca Tecmes, compuesto de:

- Sensor de nivel por presión hidráulica modelo TS310-P de 10m de rango y 15m de cable. Exactitud nominal 0.1m.
- Datalogge TS 2621
- Radiomodem en UHF Jhonson con antena.
- Baterías y panel solar
- Receptor con salida de datos a RS232 (formato mareógrafo Winner)



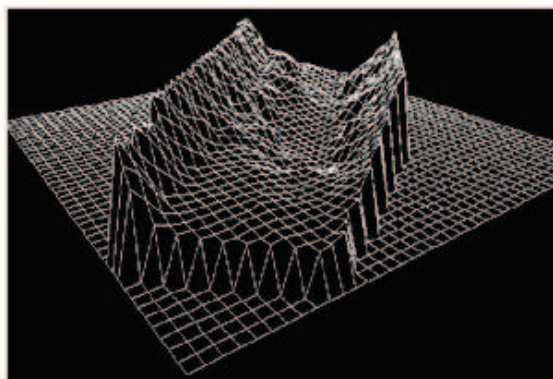
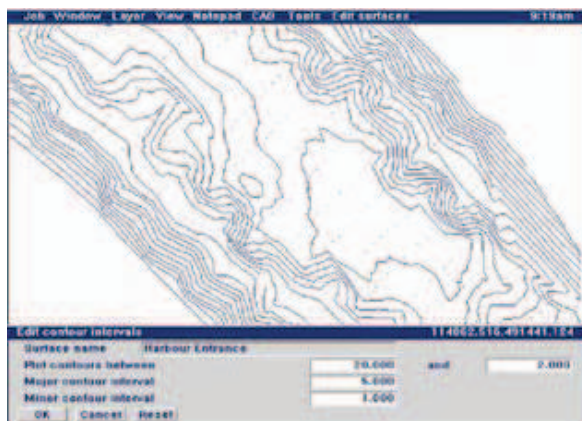
Perfiles Transversales.

El software HYDRO^{pro}, empleando el módulo “NavEdit”, nos permite posicionar la lancha hidrográfica sobre los perfiles a relevar, y trabajando en forma simultánea con el GPS, la ecosonda y el mareógrafo, determinar las tres coordenadas de cada punto en cada instante de observación.-

El programa calcula, procesa y dibuja los perfiles transversales al eje del emisario.

Modelo Digital del terreno.

Empleando el mismo software, pero con el módulo “processing”, se puede construir el MDT y a partir de allí modelos derivados tales como el curvado, es decir la generación de planos con curvas batimétricas, con hipsobaras, o bien un ploteo del fondo marino en 3D.



De la comparación de dos modelos digitales:

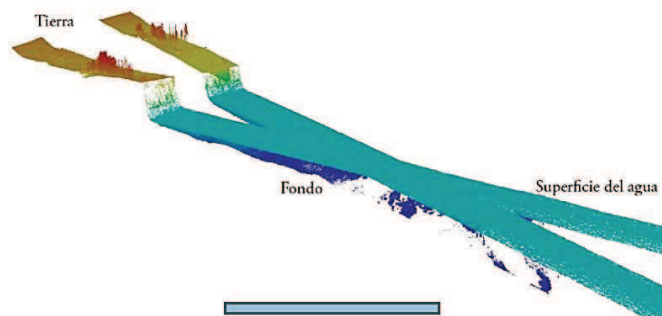
Comparando el perfil de excavación real con el perfil tipo, se controlará el corte de la zanja.

Comparando el perfil obtenido a partir de los perfiles previos, con el posterior a la excavación de la zanja, se obtiene el volumen de excavación.

Comparando el perfil de excavación con el relevado luego de la colocación del material en la zanja a fin de tapar la tubería, se obtendrá el volumen de suelo colocado.

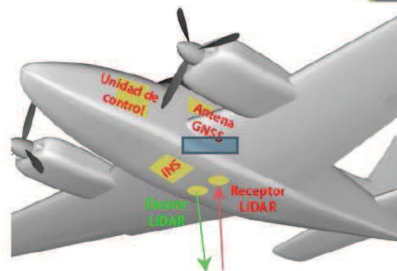
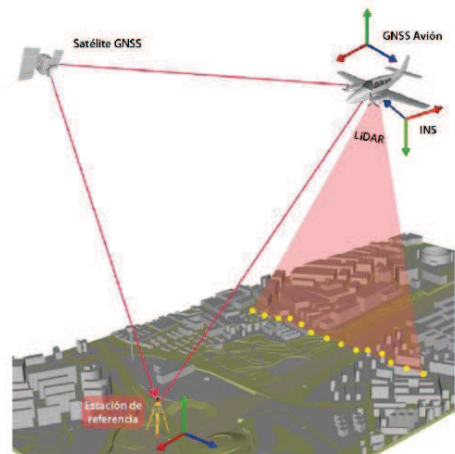
5. LIDAR Batimétrico¹⁵

Medición de zonas costeras, incluyendo dunas, marismas y humedales, determinando el cambio, la evolución y la erosión costera. De hecho, existen sensores LiDAR específicos (ALB), para estas zonas que emiten dos longitudes de onda diferentes, una para poder registrar la superficie del agua y las zonas emergidas y otra para las zonas sumergidas. Dependiendo del sensor y la turbidez del agua, la profundidad máxima que puede registrar el LiDAR es de 80 m.



El LiDAR batimétrico (ALB) es la técnica de medida de profundidades de aguas poco profundas o próximas a la costa utilizando escaneado láser. También se denomina LiDAR hidrográfico (ALH) cuando su propósito es la elaboración de cartas náuticas. A partir de estas medidas, es posible realizar mapas de zonas batimétricas en ríos, canales, lagos, puertos, zonas costeras, playas, espigones, rompeolas, barreras de coral, ubicación de yacimientos arqueológicos submarinos como pecios o hundimientos, etc. Además, se puede realizar simultáneamente registro de superficies emergidas.

Las ventajas de ALB sobre otras tecnologías de registro subacuático residen en la rapidez de registro, tanto para pequeños como grandes proyectos, que permite calcular con celeridad daños producidos por tormentas o desastres ecológicos, la posibilidad de registro a zonas de acceso complicado con sensores transportados en barco y la posibilidad de registrar simultáneamente el fondo marino, la costa o playa y resto de obras de ingeniería de puerto. Además, se ha demostrado que los costes en la adquisición de datos pueden ser de un quinto o la mitad de los invertidos con un sensor transportado en barco, sin contar que se pueden entregar más documentos además de los datos de profundidad.



¹⁵ Ingeniero en Geodesia y Cartografía José Juan Arranz Justel. Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Topografía, Geodesia y Cartografía. Universidad Politécnica de Madrid, 2013.

La técnica de registro se basa en la utilización de dos longitudes de onda diferentes. **Una, próxima al verde** (532 nm), para el registro del fondo marino y otra, próxima al **infrarrojo cercano** (1064 nm), para el registro de la superficie del agua. Teniendo en cuenta la velocidad de la luz en el aire y en el agua, es posible calcular la profundidad del fondo como la diferencia de los valores de altitud generados con ambas ondas. Las alturas de vuelo habituales oscilan entre 200 y 500 m y se utilizan FOV estrechos, entre 15° y 20°, para evitar errores en el cálculo del tiempo de vuelo de la onda con geometrías extremas. De esta forma, los anchos de barrido son estrechos comparados con ALS topográficos.

A pesar de las ventajas, no es una técnica sustitutiva del sonar, sino complementaria. Funciona mejor en zonas de poca profundidad pero no en zonas profundas, donde el sonar obtiene mejores resultados.



De hecho, según la claridad del agua, la profundidad máxima detectable por ALB es de 80 m, en el mejor de los casos. Además, la resolución espacial (4 ó 5 m) no es mejor que los equipos sonar más modernos, por lo que no pueden registrar objetos de pequeño tamaño. Para mejorar este aspecto, los equipos actuales deberían llegar a frecuencias similares a las utilizadas en ALS topográficos.

Sin embargo, esta técnica podría resultar de gran utilidad para la localización de pecios o yacimientos arqueológicos sumergidos, que se encuentren en aguas someras o cerca de la costa. De esta forma, podría abaratar costes y complementar (e incluso sustituiría) algunos de los métodos actuales para la documentación de patrimonio histórico sumergido.

