



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ARAGÓN**

**ESTUDIOS DE CAMPO PARA DEFINIR  
LA UBICACIÓN DE UN SISTEMA  
PORTUARIO**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**PRESENTA:**

**JUAN MANUEL MAYA GÓMEZ**

**ASESOR: ING. VALENTE TORRES ORTÍZ**



**SAN JUAN DE ARAGÓN, ESTADO DE MÉXICO 2010**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## DEDICATORIAS.

A Dios que me da la oportunidad de transitar en esta vida y de disfrutar de todas las maravillas que en ella hay, así como de aprender de los errores y sinsabores que se tienen que superar.

A mis padres:

Mario Maya

A ti padre te dedico este esfuerzo y cada uno de los logros que he tenido, porque gracias a tus consejos y ejemplo, el día de hoy tengo la oportunidad de darme esta satisfacción de poder dedicarte este trabajo como una de las regalías de tu inversión en mí. Gracias papá.

Virginia Gómez

Mamá tu siempre has sido un apoyo confiable en todo momento, te agradezco por todo tu esfuerzo y tu apoyo incondicional en cada etapa de mi vida, por los desvelos y por los sacrificios que te he hecho pasar para que pudiera llegar este momento. Gracias mamá.

A mis hermanos y sobrino

Por haber compartido tantos momentos juntos, además por su apoyo incondicional y por seguir juntos conviviendo en armonía.

A mi novia Celina, por acompañarme y darme la oportunidad de compartir contigo momentos muy agradables de esta vida, por tu comprensión y por tu cariño.

A toda mi familia.

(Abuelos, tíos, primos)

Por haber estado conmigo en etapas cruciales de la vida, por su apoyo moral, por sus consejos y por su cariño. Gracias a todos.

A mis amigos y compañeros de la FES ARAGON, así como compañeros de la empresa Hidrometría y Topografía de México S.A de C.V.

A los Ingenieros.

Valente Torres Ortiz, por asesorarme y por dedicarme un poco de su valioso tiempo para concluir este trabajo; Benjamín Peña Alcalá por su apoyo en este trabajo; a mis sinodales y a todos los profesores de Ingeniería Civil de la FES ARAGON, por sus conocimientos y experiencia brindados a lo largo de la carrera.

A la UNAM, FES ARAGON

G R A C I A S

## Índice

Objetivo:.....	- 1 -
Introducción.....	- 2 -
1. Antecedentes .....	- 5 -
1.1 Tipos y localización de los puertos.....	- 7 -
2. Estudios Topográficos.....	- 11 -
2.1 Reconocimiento general de la zona.....	- 11 -
2.2 Triangulación.....	- 12 -
2.3 Trilateración.....	- 17 -
2.4 Poligonación.....	- 18 -
2.5 Orientación.....	- 21 -
2.6 Nivelación.....	- 25 -
2.7 Configuración.....	- 27 -
2.8 Batimetría.....	- 27 -
2.9 Fotogrametría.....	- 37 -
2.10 Uso del GPS en los estudios topográficos.....	- 41 -
3. Estudios Meteorológicos.....	- 48 -
3.1 Vientos.....	- 50 -
3.2 Temperatura.....	- 54 -
3.3 Precipitación pluvial.....	- 57 -
3.4 Presión atmosférica.....	- 59 -
3.5 Humedad ambiente.....	- 60 -
Fig. 3.9 Psicrómetro.....	- 62 -
4. Estudios Oceanográficos.....	- 64 -
4.1 Medición de mareas.....	- 64 -
4.2 Corrientes.....	- 73 -
4.3 Oleaje.....	- 79 -
4.4 Transporte de litoral.....	- 84 -
4.5 Características físicas del agua.....	- 90 -
Conclusiones.....	- 92 -
Bibliografía.....	- 94 -

## Índice de figuras

### 1 Antecedentes

Figura 1.1 Bahía, zona de abrigo natural.....	5
Figura 1.2 Ensenada, zona de abrigo natural.....	5
Figura 1.3 Ejemplo de un Puerto establecido en un río.....	6
Figura 1.4 Instalaciones de un Sistema Portuario.....	9

### 2 Estudios Topográficos.

Figura 2.1 Monumentación y señalamientos en la Triangulación.....	13
Figura 2.2 Método de Triangulación.....	14
Figura 2.3 Tipos de Poligonales.....	20
Figura 2.4 Orientación astronómica.....	22
Figura 2.5 Paralaje Terrestre.....	24
Figura 2.6 Nivelación Diferencial.....	25
Figura 2.7 Ecosonda.....	29
Figura 2.8 Trabajos de batimetría.....	30
Figura 2.9 Equipo para batimetrías con GPS.....	33
Figura 2.10 Obtención de Z del fondo.....	34
Figura 2.11 Determinación del perfil de playa.....	35
Figura 2.12 Fotografías aéreas (Verticales u Oblicuas).....	37
Figura 2.13 Mosaico aerofotográfico.....	38
Figura 2.14 Sistema de posicionamiento por satélite.....	42
Figura 2.15 Posicionamiento diferencial.....	43
Figura 2.16 Estaciones de la Red Geodesica Nacional Activa de INEGI.....	44
Figura 2.17 Antenas de estaciones de la RGNA de INEGI.....	46

### 3 Estudios Meteorológicos

Figura 3.1 Estación meteorológica.....	50
Figura 3.2 Orientación de las dársenas y estructuras portuarias en función del viento.....	50
Figura 3.3 Diagrama de Lenz.....	51
Figura 3.4 Instrumentos para medir la intensidad del viento.....	53
Figura 3.5 Anemocinemógrafo.....	54
Figura 3.6 Termómetro de máxima y de mínima.....	56
Figura 3.7 Pluviómetro y pluviógrafo.....	58
Figura 3.8 Barómetro de Vidi.....	59
Figura 3.9 Psicrómetro.....	62

### 4 Estudios Oceanográficos

Figura 4.1 Descripción gráfica de los términos utilizados en la costa.....	64
Figura 4.2 Marea viva.....	65
Figura 4.3 Marea muerta.....	66
Figura 4.4 Gráfica de marea viva y marea muerta.....	66
Figura 4.5 Marea diurna.....	67

Figura 4.6 Marea semi-diurna.....	67
Figura 4.7 Marea semi-diurna mixta.....	67
Figura 4.8 Instalación de mareómetros.....	68
Figura 4.9 Esquema de una caseta mareográfica.....	69
Figura 4.10 Definición de las características del oleaje.....	81
Figura 4.11 Método del triángulo mediante boyas.....	84

### **Objetivo:**

Recopilar información sobre los estudios de campo necesarios para definir la ubicación de un Sistema Portuario.

## Introducción

La Ingeniería de Costas está íntimamente relacionada con la Ingeniería Civil, y se puede definir como la aplicación de las ciencias de la Física y de la Ingeniería para controlar la interacción del aire, el mar y la tierra en beneficio de la especie humana.

El tema esencial de esta investigación son los estudios de campo que se deben realizar para definir la ubicación de un Sistema Portuario, aunque cabe mencionar que también deben realizarse otros estudios muy importantes que a su vez se complementan con los de campo, para tomar la decisión de elegir el lugar adecuado en el cual se construirán todas las obras que formarán parte del Puerto; estos estudios pueden ser socioeconómicos y ambientales, entre otros.

Los estudios de campo que se deben realizar para definir la ubicación de un sistema portuario se clasifican en 3 grupos, que son los siguientes:

- 1.- Estudios Topográficos.
- 2.- Estudios Meteorológicos.
- 3.- Estudios Oceanográficos.

En los Estudios Topográficos pueden emplearse varios métodos para determinar distancias, elevaciones y profundidades, que permitan conocer la configuración del terreno, tanto en la costa como en la zona marítima.

Con esta información es posible iniciar los trabajos de diseño de las instalaciones terrestres como son accesos carreteros y ferroviarios, áreas de almacenamiento, naves y silos, vías para grúas, talleres, edificios de servicio, dependencias administrativas, etc. También se puede tener un panorama de los sitios a modificar; por ejemplo, en donde se requieren cortes y terraplenes.

Así mismo, con la información de la batimetría se puede conocer la configuración de la zona marítima, en la cual se van a construir las instalaciones de la zona de agua del puerto; tales como muelles, dársenas, bocas del puerto, canales de acceso, obras de protección, etc. Con el levantamiento batimétrico, se puede cuantificar el material que se va a retirar mediante el dragado para darle forma a las obras anteriormente citadas.

Dentro de los Estudios Meteorológicos se realizan estudios de vientos, registros de temperaturas, presiones barométricas, estudios de humedades y precipitaciones pluviales en la zona. Estos estudios son de fundamental importancia ya que las condiciones meteorológicas de la zona, pueden repercutir en las actividades de construcción y operación del Sistema Portuario, y al igual que los estudios topográficos también influyen en el diseño de las obras del puerto.

En lo que se refiere a los Estudios Oceanográficos se encuentran los estudios de oleaje los cuales son de vital importancia ya que la finalidad de un puerto es proporcionar abrigo y aguas



tranquilas a las embarcaciones para que puedan maniobrar; y al conocer el comportamiento del oleaje se pueden diseñar las obras de protección como son espigones y rompeolas, además también con esta información se puede diseñar la ubicación de la bocana o boca del puerto, ya que desde un punto de vista náutico es deseable que las naves entren al puerto a lo largo de una línea recta, que coincida con la dirección de propagación de las corrientes y de las olas más grandes.

Los estudios de marea consisten en determinar el Nivel Medio del Mar, y para esto debe conocerse que variación hay entre un pleamar y un bajamar, estos estudios pueden tomarse en cuenta cuando se va a diseñar la profundidad a la que van a estar las instalaciones acuáticas, ya que con una variación en la marea se tendría mayor o menor profundidad, por lo cual se debe revisar el calado de las embarcaciones, el nivel de los muelles de atraque y los niveles de las obras de protección. Los estudios de trasporte de litoral dan un panorama de la cantidad de sedimento o azolve que se acumularía dentro de las instalaciones acuáticas del puerto y el tiempo en que sucedería.

Los estudios de corrientes dan información sobre las zonas donde puede ocurrir mayor erosión y zonas donde haya una mayor acumulación de material de azolve.

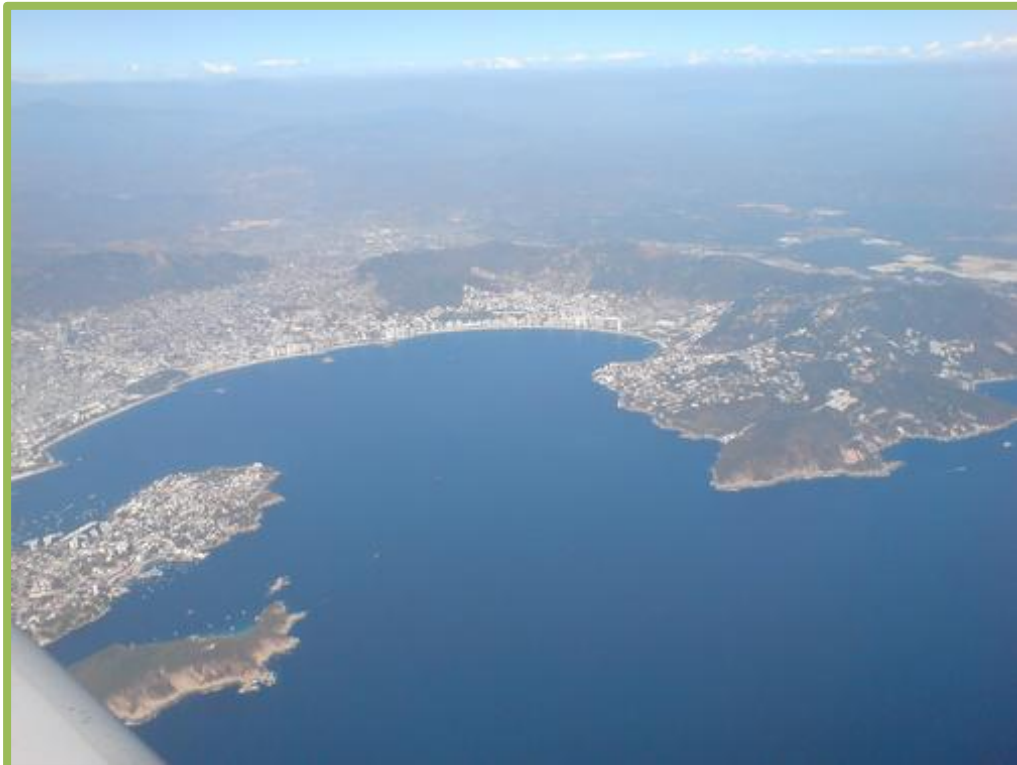
Estos estudios de campo para definir la ubicación de un Sistema Portuario, tienen estrecha relación unos con otros y a la vez se relacionan y complementan entre sí. A lo largo de la historia y gracias al avance de la tecnología se cuenta con instrumentos cada vez de mayor precisión y de fácil manejo, que en la actualidad han simplificado en gran medida los trabajos; algunos de estos instrumentos son: el GPS, estación total, ecosondas, mareógrafos, pluviómetros, etc.; y diversos programas de cómputo.

# **ANTECEDENTES**

## **CAPITULO I**

## 1. Antecedentes

El desarrollo de la navegación contó, desde el principio, con determinados lugares de la costa (bahía y ensenadas, así como desembocaduras de ríos) que ofrecieron posibilidades de atraque y refugio seguro a las primitivas embarcaciones. Pueblos, esencialmente navegantes como fenicios, griegos, vikingos y polinesios hicieron amplio uso de estos lugares privilegiados; tanto en su comercio y actos de piraterías, como en sus migraciones. Los primeros no solo dotaron de faros a los puertos naturales para favorecer la navegación nocturna, sino que fueron los iniciadores de la construcción de puertos artificiales. Así, en el siglo XIII A.C., los fenicios construyeron puertos de piedra en Tiro y Sidón, con una técnica tan perfecta que aún persisten sus partes fundamentales.



**Fig. 1.1 Bahía, zona de abrigo natural.**



**Fig. 1.2 Ensenada, zona de abrigo natural.**



**Fig. 1.3 Ejemplo de un Puerto establecido en un río.**

Paulatinamente los puertos fueron acogidos en una población diversificada (cargadores o estibadores, comerciantes, etc.) e incorporando nuevas instalaciones, adecuadas a las necesidades impuestas por el creciente tráfico marítimo que hicieron de ellos complejas

unidades técnicas - comerciales, como ocurrió en la edad media europea con los puertos del mar del Norte, confederados en la liga Anseática o en los del mar Mediterráneo (Génova, Venecia y Barcelona). El descubrimiento de América y la posterior apertura de nuevas rutas marítimas y comerciales aumentaron el tamaño y calado de los buques, lo que obligó, a partir del siglo XVI, a la construcción de muelles para facilitar la carga y descarga de mercancías. Durante el siglo XIX, la utilización masiva del vapor en los buques, en lugar del viento, permitió aumentar notablemente su tonelaje y capacidad de carga y como consecuencia, tecnificar más todas las instalaciones portuarias.

En la actualidad, un puerto de mediana importancia tiene que disponer de servicios de almacenamiento de mercancía, con las instalaciones necesarias para la conservación de los artículos perecederos (grandes frigoríficos), faros con estación de señales, rompeolas naturales o artificiales, para proteger la entrada y salida de los buques de gran tonelaje o con mercancías peligrosas, diques flotantes y secos para reparaciones y limpieza de casco y fondos, muelles de atraque con puentes, grúas de distintas capacidades, dársena para remolcadores, así como otras instalaciones adecuadas a determinados cargamentos y rutas.

El principal propósito de un puerto es ofrecer un área protegida en la cual puedan atracar los barcos. Dicha área debe ser de fácil acceso, lo cual hace necesaria la construcción de un canal de aproximación amplio y recto cuya dirección coincida con las de las corrientes y de las olas grandes. Adicionalmente es deseable contar con una zona amplia a la entrada para facilitar la maniobra de las embarcaciones.

Sin embargo, el puerto óptimo no puede lograrse jamás. Un puerto en costa abierta con canal de aproximación amplio en dirección de las olas más grandes no ofrece nunca un área protegida. Además, la acción fuerte de las olas en el puerto no solamente dificulta el manejo de la carga y las operaciones de atraque sino que también influye en el diseño de las estructuras.

Además de las facilidades de acceso y de la acción de las olas, existen otros factores que juegan un papel importante en el diseño de puertos, como los costos de construcción y mantenimiento de rompeolas y de las operaciones de dragado que se requieren para mantener las profundidades de diseño. En algunos casos el aspecto económico es de tal naturaleza que domina sobre los requerimientos de navegabilidad.

El diseño final de un puerto, que incluye además las obras de aproximación, está determinado por una serie de factores cuya importancia depende de las condiciones naturales que predominan en el área. Es esencial tener un buen conocimiento de estas condiciones por medio de estudios de campo apropiados y del análisis de sus efectos sobre el puerto. Debido a la complejidad de los fenómenos naturales, es indispensable algunas veces el uso de modelos a escala reducida.

### ***1.1 Tipos y localización de los puertos***

Las dimensiones principales de un puerto están determinadas tanto por sus funciones como por su capacidad y por el tipo y tamaño de las embarcaciones que va a recibir.

El proyecto de un puerto, y particularmente la configuración de la entrada dependen principalmente de su localización. En este aspecto se hace una distinción entre puertos localizados en la costa, en un río o en un estuario, en un canal o en un lago.

Generalmente los puertos que están situados en la costa del mar se proyectan para trasatlánticos. Las embarcaciones que arriban a estos puertos pueden tener tamaños variables que van desde petroleros hasta barcos pesqueros, lo cual tiene sus consecuencias en el diseño del puerto. En principio, sin embargo, los problemas que deben resolverse son similares, siendo el más importante la penetración de las olas en el puerto y en el caso de costas arenosas la sedimentación de arena tanto en el puerto como en el canal de aproximación, o la posible erosión de la costa.

Como los ríos y los estuarios conforman las rutas naturales de transporte entre el mar y el interior de los continentes, se han desarrollado muchos puertos a lo largo de dichas vías. En la antigüedad fue posible construir puertos marítimos costa adentro porque las dimensiones de las naves que llegaban a los puertos eran relativamente pequeñas. Sin embargo, con el incremento del tamaño de las naves surgieron problemas que tenían que ver con la profundidad disponible y con la amplitud de las vías acuáticas, los cuales no pudieron ser resueltos adecuadamente dentro de los planes de ampliación de dichos puertos.

En general los tramos inferiores de un río, o estuarios, en los cuales las condiciones hidráulicas son determinadas en gran parte por las mareas ofrecen las mejores posibilidades para la navegación hacia el mar y efectivamente, la mayoría de los puertos grandes están situados en ríos sometidos a mareas.

A continuación se presenta una lista de los principales factores hidráulicos, meteorológicos y topográficos que deben tenerse en cuenta cuando se diseña un puerto en un área sometida a mareas:

Puertos en una costa arenosa.

1. Variaciones del nivel del agua debido a mareas y a condiciones meteorológicas.
2. Oleaje. condición de aproximación de las olas.
3. Seiches u oscilaciones.
4. Corrientes,
5. Transporte litoral

Puertos en el tramo inferior de un río.

1. Variaciones del nivel del agua debido a mareas y a condiciones meteorológicas.
2. Corrientes,
3. Corrientes secundarias debidas a diferencias de densidad entre agua dulce y agua salada,
4. Restricciones en el ancho de la vía navegable
5. Movimiento de sedimentos en suspensión,
6. Formación de barras de arena un poco después de la desembocadura del río en el mar.



**Fig. 1.4 Instalaciones de un Sistema Portuario.**

# **ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS**

## **CAPITULO II**



## 2. Estudios Topográficos.

Para iniciar cualquier proyecto de Ingeniería Civil se requiere un estudio topográfico previo, ya que se necesita tener un panorama general de la zona en la cual se van a distribuir los espacios a proyectar.

En la Ingeniería de Costas al igual que en cualquier área de la Ingeniería Civil, es necesario realizar levantamientos topográficos, uno de los principales objetivos de los Estudios Topográficos es establecer esquemas de control terrestre necesarios para poder realizar los planos que representan el área levantada a una escala tal que sirva para representar la zona de acuerdo a los fines a que se vayan a destinar los planos posteriormente. Tomando en cuenta, que el trabajo total se dividirá en secciones para así verificar el levantamiento de detalles.

El levantamiento topográfico puede ser Horizontal (Planimetría) y Vertical (Altimetría).

Planimetría.- Tiene como finalidad representar en el plano horizontal las diferentes estaciones o puntos de control con un sistema de referencia.

Altimetría.- Su objetivo es Tiene como finalidad determinar la altura de dichas estaciones en relación a un banco de nivel establecido, en relación al Nivel Medio del Mar.

La secuencia de los trabajos topográficos puede ser la siguiente, según la importancia y necesidad de información que nos proporciona cada método:

- 1.- Triangulación.
- 2.- Poligonación.
- 3.- Orientación.
- 4.- Nivelación.
- 5.- Configuración
- 6.- Fotogrametría.

### 2.1 Reconocimiento general de la zona.

Antes de todo, en cualquier obra civil, es necesario el reconocimiento de la zona de estudio; de igual manera antes de realizar cualquier actividad del estudio topográfico, es necesario hacer un reconocimiento general de la zona por estudiar.

Este trabajo comprende un recorrido por toda la zona para involucrarse con las condiciones reales que muestra el terreno, a su vez se pueden ir considerando algunos puntos estratégicos posibles en los cuales podrían establecerse vértices de la triangulación o estaciones de la poligonal, sentido del recorrido, etc. También se tomará información de la región u tales como los tipos de servicios con los que se cuentan en las localidades; vías de comunicación, sistemas de agua potable y alcantarillado, etc. Así; como también observar si existen trabajos anteriores que puedan servir de apoyo, o de liga, a los trabajos que se efectuarán, como por ejemplo algunas mojoneras y/o bancos de nivel.

## 2.2 *Triangulación.*

El objetivo principal de la triangulación es tener un control preciso y bien definido en planta, de toda la zona por estudiar, dado que estos datos servirán de base para trabajos topográficos posteriores tales como, la poligonación, la orientación, nivelación y los de fotogrametría; ya que, apoyados en los vértices de la triangulación, se pueden verificar los levantamientos posteriores y darse cuenta de posibles errores.

La triangulación es necesaria cuando el área de estudio es muy extensa. También es de gran importancia, pues dicha triangulación servirá como apoyo para los levantamientos aerofotogramétricos.

Para los trabajos de nivelación que se efectúan en los estudios físicos de puertos, se considera como suficiente calidad el 3er orden, considerando líneas base del orden de 500m, teniendo como vértices puntos determinados astronómicamente, de ser posible, así como de preferencia que tengan relación a una triangulación de orden superior que pudiera existir dentro de la zona.

Dentro de las actividades a seguir para los estudios de triangulación se tienen los siguientes:

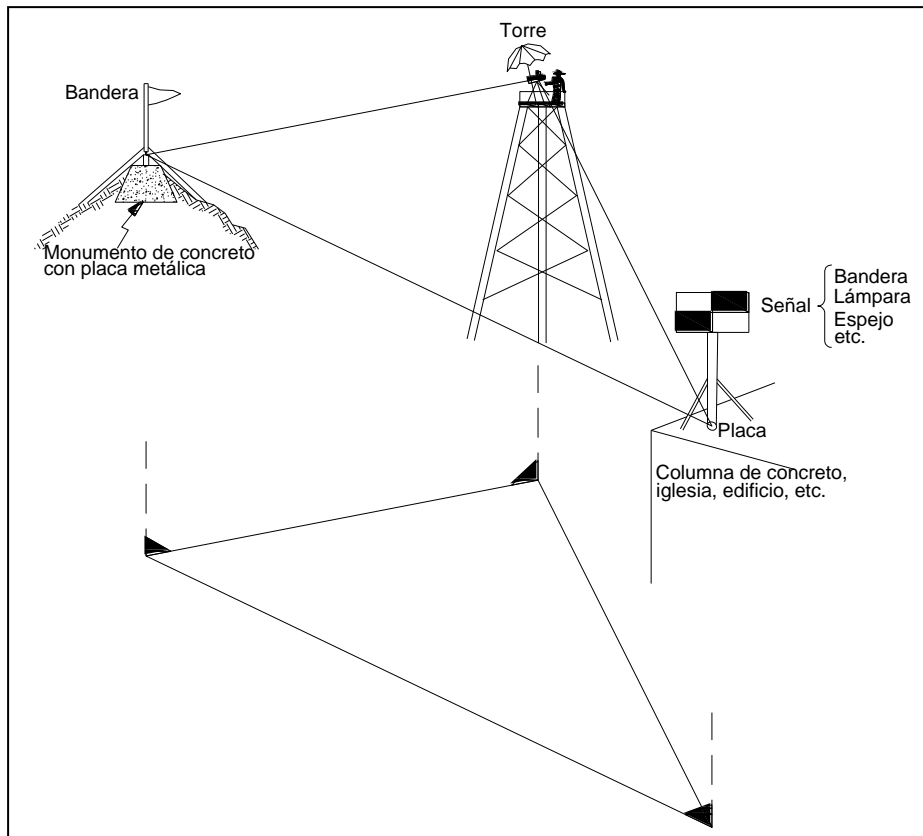
- a) Reconocimiento del terreno.
- b) Monumentación y señalamiento.
- c) Medición y orientación de la base.
- d) Medición de los ángulos.

### **a) Reconocimiento del terreno.**

Esta es la primera fase de cualquier trabajo topográfico, el cual se debe de ejecutar en cuanto la brigada de trabajo llegue a la zona de estudio.

En este trabajo se verifican los caracteres del sitio escogido, al hacerse la planeación del estudio, para servir como localización de las estaciones de triangulación e introducir en el esquema general cambios y modificaciones del terreno, como visibilidad y facilidad de acceso.

Por ejemplo: En esta etapa, debe quedar establecida la localización del lugar donde se ejecutará la medición de la línea base y, también en esta etapa deben identificarse aquellas estaciones de alguna triangulación previa realizada en las cercanías, con el fin de poder ligarlas al trabajo actual, siempre y cuando sea costeable su realización.



**Fig. 2.1 Monumentación y señalamiento en la Triangulación.**

### **b) Monumentación y señalamiento.**

Los vértices de la triangulación dependerán de su localización y tamaño de la zona de estudio, así como de las longitudes de los lados, pues habrá ocasiones en que se tengan longitudes de 4 o 5 km, en cuyo caso habrá necesidad de tener los vértices de la triangulación en puntos lo más altos posibles y sin obstrucciones, pudiendo colocarse sobre sitios construidos ex profeso para dicho fin.

Cuando ya se tengan definidos los sitios en donde se establecerán las estaciones, debidamente preparados, se procede a ejecutar la monumentación de las estaciones, para lo cual se construirán mojoneras de concreto, que garanticen su duración, con una varilla ahogada en el centro de la mojonera, la que indique el punto preciso del lugar de la estación.

Una vez terminada la monumentación se procede al señalamiento de todas las estaciones, empleando señales que sean perfectamente visibles y, de acuerdo con sus longitudes y materiales, que cubran las longitudes de las visuales.

### **c) Medición y orientación de la base.**

Para la medición de la base se elegirá el sitio donde el terreno esté lo más plano posible y se debe preparar convenientemente antes de efectuara la medición.

Esta preparación consiste en limpiar y dejar totalmente libre la línea, en toda su longitud, por donde se hará la medición.

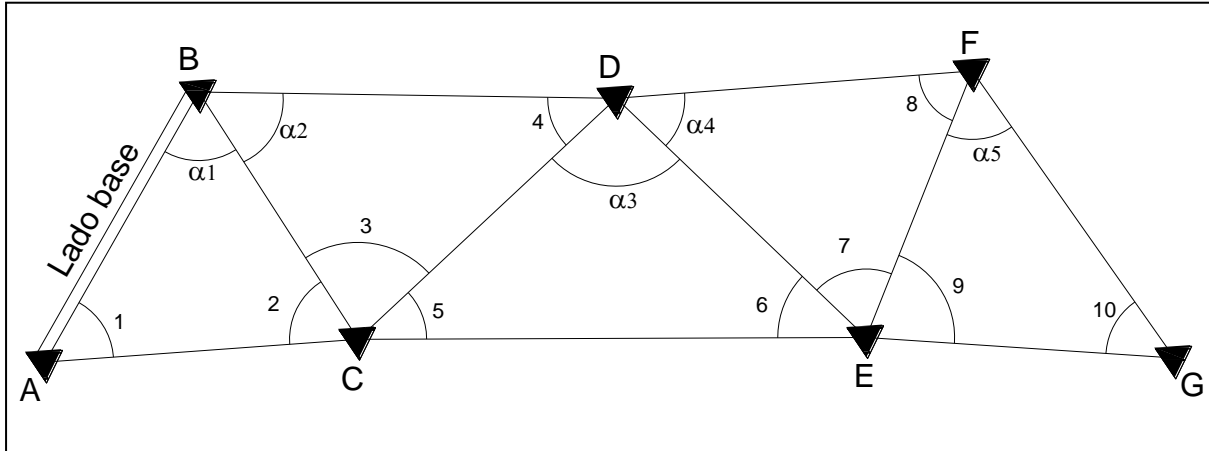


Fig. 2.2 Método de Triangulación.

Esta medición puede realizarse en la actualidad, utilizando el teodolito electrónico con distanciómetro, el cual simplifica considerablemente el trabajo y sobre todo ofrece una precisión muy alta, claro, depende de las características del equipo a emplear, pero en general ofrece mayor precisión que los métodos anteriores, en los cuales se utilizaba la cinta métrica.

La orientación de la línea base se especificará en el apartado correspondiente.

#### d) Medición de los ángulos.

Dentro de las actividades que corresponden a esta etapa de la Triangulación, la medición de ángulos deberá ejecutarse en cada estación de dicha triangulación, así como en las estaciones secundarias para determinar el control horizontal y vertical.

Para el control horizontal se requieren las siguientes observaciones:

- 1.- Ángulos horizontales.
- 2.- Visuales.
- 3.- Intersecciones.
- 4.- Tangentes.

#### 1.- Ángulos horizontales.

Para llevar a cabo esta medición se empleará el método de direcciones, el cual consiste en medir las direcciones de cada estación, tomando una de ellas como la inicial, llamándose direcciones a los ángulos medidos en el sentido horario desde la estación inicial a cada una de las restantes, procurando que los ángulos sean mayores a  $30'$

El valor del ángulo comprendido entre dos estaciones observadas los cualesquiera que sean, no es otra cosa que sus direcciones respectivas. Para la medición de ángulos horizontales, se visualizará primero a la estación inicial, y después sucesivamente a cada una de las estaciones siguientes, siempre en sentido directo hasta alcanzar el vértice de partida, procediendo entonces a dar al anteojo una vuelta sobre su eje de alturas y efectuar una serie de lecturas en

posición inversa del instrumento. Esta doble lectura constituye la primera posición y el procedimiento se repetirá dividiendo el círculo horizontal en el número de veces que se harán las mediciones, para tener otro origen distinto y ocupar todo el círculo del aparato con el fin de evitar el error de excentricidad, aunque siempre empezando por el mismo P.O. (punto observado), hasta completar el número de posiciones según sean las estaciones.

#### 2.- Visuales.

Esta combinación se reduce a tomar direcciones de cada una de las estaciones de la triangulación principal hacia los accidentes topográficos más importantes, sobre todo los de mayor elevación y que posteriormente se levantarán en el control vertical, para el trazo del perfil del terreno que deberá ser incluido en los planos correspondientes.

#### 3.- Intersecciones.

La localización de las intersecciones secundarias se obtendrá por el método de intersecciones definitivas por los niveles observados desde las estaciones principales de la red de triangulación. El número de ellas será como mínimo tres, aquellas que se corten con los ángulos más convencionales para disminuir el mínimo de error de localización.

#### 4.- Tangentes.

Se obtendrán tangentes de los puntos más lejanos pero que estén bien definidos de la costa, tales como islas y bajos, los cuales servirán para comprobar las formas más correctas, ya que las tangentes visadas, definen la posición precisa de los accidentes del terreno. La brigada de observación consiste esencialmente de 2 elementos, uno encargado de efectuar las observaciones y otro de hacer las anotaciones en las libretas correspondientes. Así que, para que el rendimiento del observador sea el máximo, aparte del conocimiento de las funciones del instrumento y de la capacidad que tenga para la observación propiamente dicha, se recomienda que tenga en consideración los siguientes detalles:

- Nivelar y apuntar cuidadosamente el aparato antes de proceder a la medición.
- Efectuar suavemente los movimientos acimutales usando para ello la base del aparato y nunca la del telescopio.
- No apretar demasiado los tornillos de presión y de las patas del trípode.
- Dejar ligeramente flojo el eje horizontal mientras se observan ángulos horizontales.
- Mantenerse fuera de las patas del trípode al estar efectuando las mediciones.
- Trabajar cuidadosamente sin precipitaciones, así como caminar lo menos posible alrededor del instrumento.

En lo que al anotador se refiere, debe tener en consideración que todos los registros deben ser claros, limpios y completos, no sólo por la presentación en sí; sino porque constituyen una valiosa parte del levantamiento y deberán ser consultados por otras personas ajenas a la brigada a lo largo de diferentes etapas del trabajo de gabinete.

Los registros de campo se harán de acuerdo con el modelo correspondiente que presentan las páginas de la libreta de tránsito.

En la parte superior de la primera página se anotarán tan sólo el nombre de la dependencia y la ubicación en donde se realiza el levantamiento.

En la parte superior del rayado se anotará el nombre de la estación, la fecha de observación, el nombre de la persona responsable del trabajo, identificación del instrumento utilizado.

En el resto de las páginas se anotarán los datos que indican el encabezado de cada una de las columnas que a continuación se mencionan:

- 1.- Punto al cual se dirige la visual (vértice de la triangulación, estación secundaria, etc.)
- 2.- Posición del telescopio, ya sea directa o inversa.
- 3.- Grados enteros medidos.
- 4.- Minutos medidos.
- 5.- Segundos medidos.
- 6.- Promedio de las lecturas hechas con el anteojo en ambas posiciones.
- 7.- Valor correspondiente a cada punto visado desde la estación que se haya tomado como inicial.
8. Notas aclaratorias y observaciones que deben de tomarse en consideración.

#### **f) Especificaciones.**

El fin de la triangulación es para el apoyo de los trabajos de poligonación y subsecuentes en todos los estudios de campo que se realicen con el propósito de cubrir grandes superficies, así como para el control de levantamientos aerofotogramétricos. Como los trabajos de campo que se ejecutan generalmente para los propósitos de Ingeniería Marítima son concentrados, se estima que una triangulación de *tercer orden* es suficiente para estos propósitos.

- Se determinarán lados del orden de 3 a 4 kilómetros, de tal manera que se puedan tener poligonales de esa longitud, pudiendo variar esta distancia en las zonas en las que no se hacen estudios y que sólo ligan zonas donde si se requiere del levantamiento.
- Las observaciones angulares en cada estación de la triangulación se harán centrando el aparato en tierra, o bien, mediante el empleo de torres si la vegetación es un impedimento para hacerlo en ello.
- Se determinarán figuras, variando desde tan solo un triángulo como mínimo hasta figuras compuestas con cadenas de triángulos, cuadriláteros o polígonos, con la condición de que las figuras tengan ángulos individuales entre  $30^\circ$  y  $150^\circ$  aproximadamente, evitando si es posible combinar triángulos con cuadriláteros y polígonos.
- Se medirá una base cuando no sea posible el ligue con triangulaciones existentes ya aprobadas, debiéndose escoger el sitio adecuado para tener una longitud mínima acorde con la longitud del lado de la triangulación donde encaje para tener ángulos aceptables.
- La tolerancia angular de la triangulación será de  $10''$  por cierre de triángulos.
- La tolerancia lineal o divergencia entre la longitud de la base medida y la calculada por triángulo después de compensados los ángulos será de 1: 5,000.
- Se orientará la base astronómicamente por cualquier método que dé la precisión necesaria, para referir todos los trabajos al norte verdadero (geográfico).

- Todos los vértices deberán señalarse con mojoneras de concreto de 30cm x 30cm en la base superior y de 50cm x 50cm en la base inferior, con una altura de 2.0 metros, armados con 4 varillas de ½” y estribos de ¼” a cada 25 cm, colocando una placa de bronce de forma triangular de 15 cm con los datos de la estación.

### 2.3 Trilateración.

Con la incursión en el mercado de distanciometros electrónicos, los trabajos de topografía se han simplificado considerablemente en los últimos años; y la trilateración ha venido a complementar los trabajos de triangulación y, en algunos casos, a sustituirlos.

Este método consiste en medir las longitudes de los lados para que así, por trigonometría, se obtengan los ángulos; es decir, la operación contraria a la triangulación. Es posible que la importancia del trabajo requiere el uso de los dos métodos, pero esto requiere de más trabajo y tiempo, tanto en las tareas de campo como las de gabinete; sin embargo se garantiza una mayor precisión.

Dado que para las triangulaciones, y trilateraciones topográficas, se presentan lados relativamente cortos, y sobre una superficie plana, el alcance de los distanciometros electrónicos satisface plenamente el requisito de medición. Tomando las precauciones necesarias para medidas con distanciometro electrónico.

Las trilateraciones se utilizan con los mismos fines que las triangulaciones y se recomienda cuidar los siguientes aspectos:

- Medir las distancias al menos en forma doble, de ida y vuelta (AB-BA).
- Las medidas lineales deberán ser corregidas por temperatura y presión.
- Se reducirá el horizonte y para ello es necesario medir de forma precisa (de preferencia con un teodolito de aproximación de un segundo de arco) los ángulos verticales, tanto en posición directa como en posición inversa, y con relación a esto:
- Medir de manera precisa la altura del aparato en todos y cada uno de los vértices.
- Orientar astronómicamente uno de los lados, a fin de propagar esta orientación por cálculo al resto de los lados, una vez compensada la cadena de triángulos, y comprobar el cálculo mediante otro lado orientado astronómicamente cuando la cadena o red sea muy extensa.

La forma de calcular los ángulos por trigonometría es:

$$A = \cos^{-1} \left( \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc} \right) \dots \dots \dots (2.1)$$

Con la condición de que:

$$A + B + C = 180^\circ$$

- Será necesario compensar las trilateraciones en función de los objetivos y métodos específicos en cada caso particular.
- Pueden sustituirse; el lado base o lados base de las triangulaciones, por cuadriláteros cuyos lados se medirán con toda precisión y se ajustarán rigurosamente, ligando los lados de dicho cuadrilátero a los lados de la cadena de triángulos.
- Las longitudes de las cadenas de triángulos, y la forma de los mismos, pueden ajustarse a las descritas para la triangulación; sin embargo, se tiene menos rigor en esto, por las características y ventajas que representa medir las distancias. Será necesario, entonces, sólo ajustarse a las normas de precisión establecidas por los distintos organismos oficiales tanto nacionales como internacionales.
- Con las trilateraciones, las precisiones son relativas al tamaño de los triángulos; no obstante pueden considerarse que cubren un rango de precisión que van desde 1 : 5000, 1: 10000.... hasta 1: 100000 en el cierre. Si se combina con la medida de ángulos horizontales los resultados serán variables, pero en general se incrementará la precisión.

Complementar triangulaciones con trilateración es muy ventajoso sobre todo cuando, por la longitud de los lados o por efecto de los fenómenos atmosféricos, hay problemas de visibilidad, también resulta sumamente rápido realizar las mediciones lineales.

Tanto; en el caso de la triangulación, como en el de la trilateración, puede requerirse el conocimiento de las elevaciones o cotas. Para ello podemos recurrir a la nivelación topográfica, nivelación trigonométrica (caso más frecuente, pues se poseen los datos necesarios) y la nivelación barométrica, según las necesidades.

En la actualidad tanto las triangulaciones, como las trilateraciones, no representan problemas de cálculo gracias a la existencia de equipos de cómputo y software, capaces de resolver cualquier problema relacionado con este tipo de levantamientos y sus diversas aplicaciones en topografía tradicional como en fotogrametría.

#### **2.4 Poligonación.**

El objetivo principal de la poligonación es abarcar, mediante una o varias poligonales, toda la zona por estudiar.

Durante el levantamiento de las poligonales se procura hacer coincidir el mayor número posible de estaciones con los vértices de la triangulación, de tal manera que se pueden verificar los datos obtenidos en las mediciones, y en caso de que existan errores, hacer nuevamente las mediciones para verificar los valores.

Generalmente, en los trabajos de poligonación, se usa una poligonal principal que sirve como base para las demás poligonales secundarias. Utilizando como base los vértices de la triangulación.



La secuencia de los trabajos a realizar en una poligonación, es similar a una triangulación, con la diferencia de que las distancias entre estaciones son muy cortas; las cuales son necesarias para hacer los levantamientos de detalle en toda la zona de interés. Estas actividades a realizar son las siguientes:

- a) Reconocimiento del terreno.
- b) Monumentación.
- c) Levantamiento de la poligonal (medición de distancias y ángulos)
- d) Orientación.
- e) Nivelación.

En los levantamientos de las poligonales se procura hacer siempre que sea posible las mediciones de ángulos en el sentido de manera que se pueda contar siempre con medidas de ángulos interiores.

A medida que se va recorriendo la poligonal, se van efectuando las distancias entre los vértices de ésta. Se debe procurar que todas las poligonales sean cerradas sobre sí mismas o sobre los vértices de la triangulación; de tal manera que, se pueda hacer una comprobación y poderlas ajustar.

- a) Reconocimiento del terreno.

Al igual que en la triangulación; o cualquier trabajo de topografía; se hace un recorrido en la zona de interés con el fin de buscar la posición idónea para la ubicación de cada uno de los vértices de la poligonal; de tal manera que se pueda hacer el levantamiento de detalle, siendo necesario para esto de visibilidad entre el vértice de la poligonal; que durante el levantamiento será una estación; y cada uno de los elementos por levantar.

- b) Monumentación.

Este trabajo es igual que el descrito en el apartado referente a la triangulación, con la diferencia que en las poligonales pueden utilizarse, además de mojoneras de concreto, estacas de madera o varilla corrugada.

- c) Medición de distancias y ángulos.

Si para el trabajo de poligonación se emplea una estación total, para hacer la medición de distancias y ángulos se requiere de una brigada de topografía que al menos cuente con un observador que es quien manejará la estación, un anotador y un cadenero el cual posicionará el prisma en cada uno de los vértices para hacer la medición.

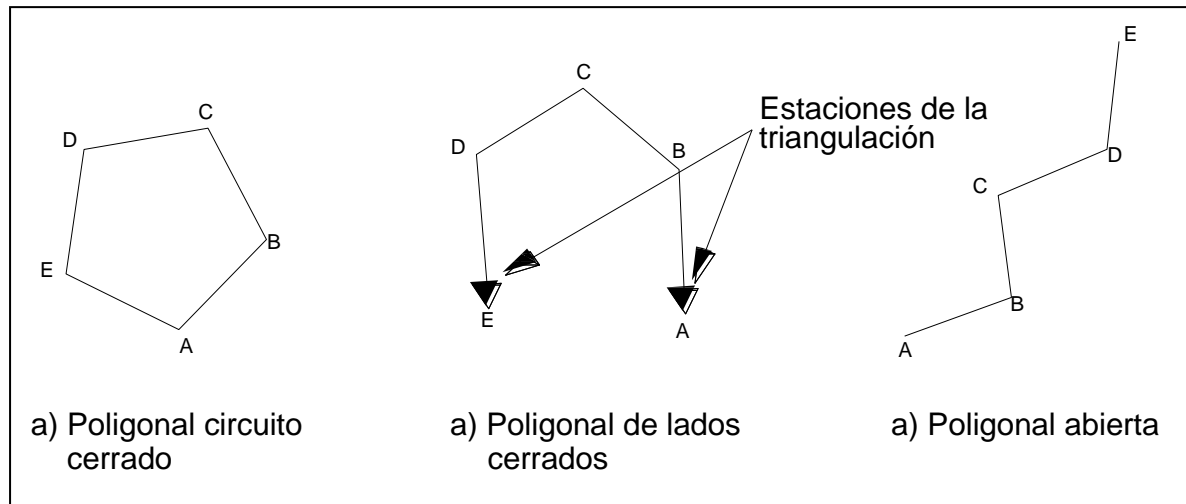


Fig. 2.3 Tipos de Poligonales.

Los trabajos se desarrollarán de la siguiente manera:

El observador centrará y posicionará el aparato en un vértice de coordenadas conocidas (vértice de la triangulación), se coloca el prisma en posición vertical en la estación delante de la cual está posicionado el aparato, posteriormente se hace la lectura de la distancia horizontal entre ambas estaciones, también se puede conocer el ángulo y el desnivel.

d) Orientación.

Este trabajo por lo regular se hace al iniciar los trabajos del levantamiento de poligonales, para que al partir ya esté orientado. En el apartado referente, se especifican las actividades que comprenden esta etapa.

e) Nivelación.

La nivelación es necesaria para obtener el esquema de control vertical, debiéndose correr una nivelación diferencial por cada uno de los vértices de la poligonal; tal y como se detalla, en el apartado correspondiente.

f) Especificaciones.

Se harán poligonales para apoyo de los seccionamientos, batimetría y levantamientos de detalle, tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- Las poligonales serán del tipo cerradas, ya sea entre vértices de triangulación cerrando con 1 ó 2 vértices de ésta o regresando al punto de partida por otro camino diferente. Se utilizarán poligonales abiertas de poca longitud, solamente para el levantamiento de detalles, o para propósitos de localización de pedreras y bancos de materiales, si es que no existen vías de comunicación para ubicarlas.

- La longitud de los lados de la poligonal, así como los ángulos, se medirán al menos 2 veces.
- La tolerancia angular será de  $T = a\sqrt{N}$ , siendo “a” la aproximación directa del aparato que se emplea y N el número de lados de la poligonal, incluyendo los de cierre de la triangulación, en el caso de que se utilice para cerrar la poligonal.
- Si la poligonal no se apoya en la triangulación debido a que la magnitud del estudio no requiere ejecutar la triangulación, entonces se orientará astronómicamente uno de los lados para referir los trabajos al norte verdadero.
- Para evitar errores sistemáticos en las observaciones angulares, se observará una estación en posición directa del aparato y en la siguiente en posición inversa.
- Para los trabajos de gran longitud a lo largo de litorales, se podrán emplear poligonales abiertas, si no existe triangulación de apoyo, debiendo hacerse por tramos de 2 ó 3 km de longitud y requiriéndose, al principio y fin de cada tramo hacer una orientación astronómica de los lados para ir revisando la tolerancia angular en función de la diferencia de acimut calculado.
- Todos los vértices deberán localizarse en zonas de seguridad fuera de las zonas de erosión y azolve, se señalarán con mojoneras de concreto de 18 X 18 cm de base superior, de 30cm X 30cm de base inferior y de 1.20m de altura; armadas con 4 varillas de 3/8” y estribos de 1/4” a cada 25 cm, deberá llevar una placa de identificación de bronce de 10cm X 10 cm.

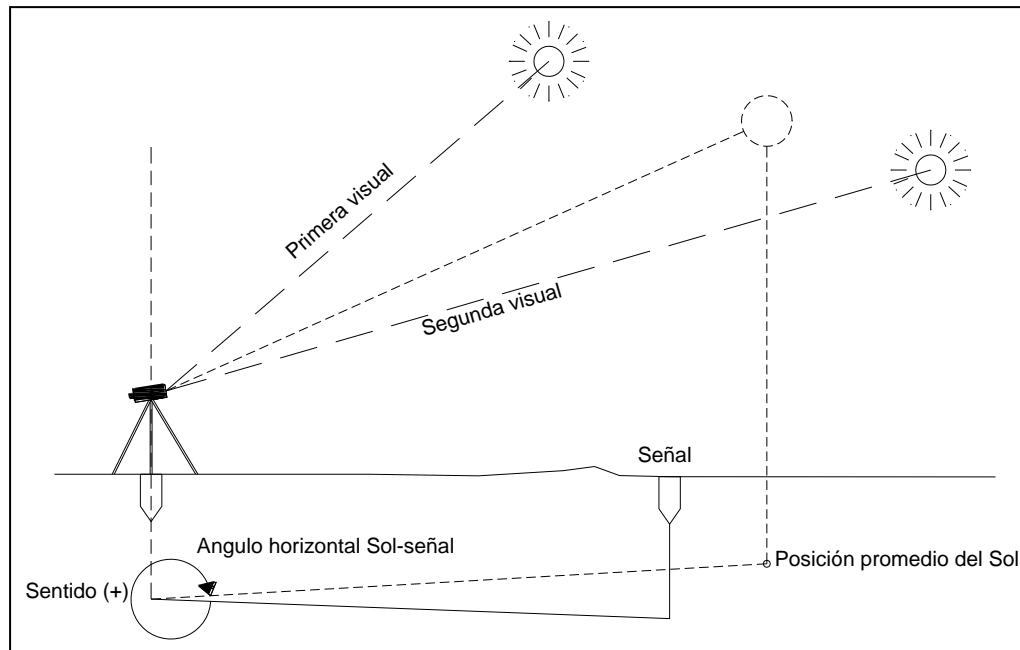
## 2.5 Orientación.

El objetivo de la orientación es determinar la dirección Norte-Sur verdadera de una localidad determinada.

Se acostumbra, generalmente, obtener la orientación del lado base de la triangulación; el cual, nos puede servir para la misma poligonal principal, o en su defecto, obtener la orientación de alguno de los lados de la poligonal.

Dichas orientaciones se obtienen de observaciones sucesivas del sol o alguna otra estrella, calculando, mediante estas observaciones, el acimut del astro en el momento de la observación y de esta manera nos es posible obtener, posteriormente, el acimut del lado considerado.

Las observaciones deberán hacerse entre las 8:00 y 9:00 horas, o entre las 15:00 y 16:00 horas, repitiéndose esta operación 3 veces en posición directa y 3 veces en posición inversa; obteniendo el acimut magnético de la línea base, la hora de cada observación, el ángulo vertical y el ángulo horizontal.



**Fig. 2.4 Orientación Astronómica.**

Estas observaciones se efectúan de la siguiente manera: Se centra y se nivela el aparato en un extremo del lado por orientar, observando el extremo opuesto y haciendo coincidir con cero grados.

Se hace girar el movimiento particular observado el sol, haciendo tangencia entre el sol y los hilos de la retícula, quedando el sol alojado en el primer cuadrante; esta observación se hace usando un helioscopio en el ocular.

Se hacen y se anotan las lecturas, tanto del ángulo horizontal como del vertical, así como la hora, al segundo.

Se invierte el anteojo y se vuelve a visar el astro, haciendo nuevamente todos los pasos anteriores descritos, acostumbrándose siempre a hacer una serie de observaciones y lecturas, de tal manera que se pueda tener una mayor precisión.

Posteriormente se procederá en gabinete a calcular el acimut del sol y el del lado por orientar. Se debe tomar en cuenta en estos cálculos, una serie de factores como son; correcciones por refracción, por declinación de sol, etc.

En el caso de la triangulación siempre se orientará el lado base; en tanto que para las poligonales se podrá orientar cualquiera de sus lados, pero de preferencia hay que escoger aquel que tenga las condiciones más favorables para hacer la medición.

Las observaciones al Sol se ven afectadas por el fenómeno de refracción debido a la atmósfera, ya que la posición del observador no es precisamente el centro de la Tierra (teniendo en cuenta que el Sol está cerca de la Tierra). A diferencia de otros astros más

lejanos, el efecto denominado paralaje debe ser considerado junto con la refracción de la luz para corregir; ya sea la altura ( $a$ ) del astro o su distancia cenital ( $z$ ).

El efecto de refracción hace que el sol y, en general, cuando el astro se encuentra cerca del horizonte se verá más alto de lo que en realidad está. Este efecto varía con la presión y temperatura al momento de hacer las observaciones. Dicho efecto puede ser corregido con tablas del anuario del Observatorio Astronómico Nacional del Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México, mediante las siguientes relaciones:

$$R = \left( \frac{21.7b}{273} + t \right) \cot a \dots\dots\dots(2.2)$$

en la cual:

- R = refracción.
- b = presión barométrica.
- t = temperatura en °C.
- a = altura observada.

O bien:

- R = 60.6'' tan z; en la que:
- R = refracción
- z = distancia cenital (90° - a)

El problema del paralaje se plantea porque las efemérides, en general, consideran en sus determinaciones que el observador está situado en el centro de la esfera celeste; es decir, en el centro de la Tierra.

- c = centro de la Tierra.
- z = distancia cenital.
- a = altura observada.
- B = altura verdadera.
- p = corrección por paralaje.
- p' = paralaje horizontal.

$$p = p' \text{ sen } z$$

ó bien:

$$p = p' \text{ cos } a$$

y se toma el valor promedio de 8.8'' por p' de modo que:

$$p = 8.8'' \text{ cos } a$$

Esta corrección no es necesaria cuando se trata de astros distintos al Sol, por su distancia a la Tierra; la corrección por paralaje es de sentido contrario a la de refracción. También, cuando z

$>20^\circ$  se supone un valor general de  $6''$  para  $p$ , es decir,  $p = 6''$  que deben restarse de la distancia cenital observada. Así:

$$z = z' + R - p;$$

$$z = z' + R - 6''$$

Donde:

- $z$  = distancia cenital verdadera.
- $z'$  = distancia cenital medida.
- $R$  = corrección por refracción .
- $p$  = corrección por paralaje (sólo en el caso del Sol).

La tabla XV del anuario del Observatorio Astronómico Nacional nos da la facilidad de encontrar las correcciones por paralaje. De este modo no se tiene ningún problema para hacer las correcciones por refracción y paralaje.

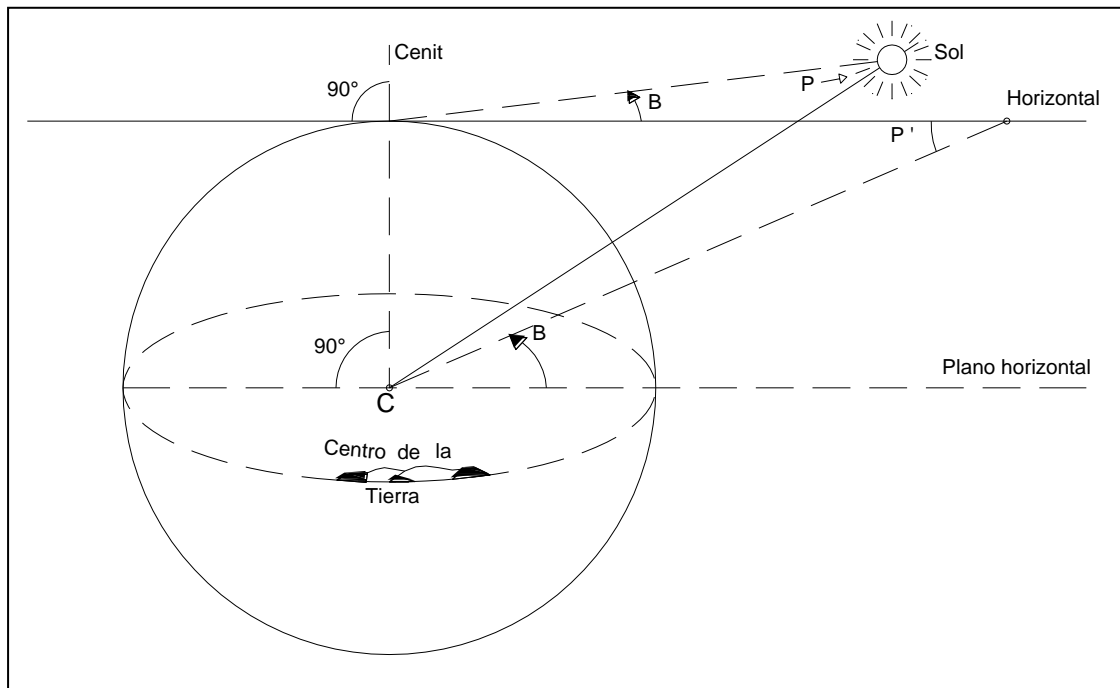


Fig. 2.5 Paralaje Terrestre.

**Determinación del valor del acimut de una línea observando el Sol.**

A continuación se describe un método práctico para encontrar el acimut tomando como referencia el sol, mediante la siguiente fórmula:

$$Ac = \cos^{-1} \left( \frac{\sin \varphi - \cos z \sin \varphi}{\sin z \cos \varphi} \right) \dots \dots \dots (2.4)$$

Donde =

$A_c$  = Acimut

$\varphi$  = Declinación del astro (Sol).

$z$  = Distancia cenital verdadera.

## 2.6 Nivelación.

La nivelación tiene como objetivo establecer un esquema de control vertical, junto con el control horizontal, para la construcción de planos representativos del terreno, mediante la determinación de las diferencias de altura que existen entre todos los puntos o estaciones de la poligonal en el terreno.

Los trabajos de nivelación se efectúan basándose en las cotas proporcionadas de un banco de nivel (BN) cercano a la zona, y que construyó alguna Secretaría.

En el caso de que no existiera un banco de nivel con referencias conocidas, se toma un banco de nivel arbitrario y posteriormente se refiere su cota al nivel medio del mar o al nivel de bajamares medias inferiores.

Conforme se vaya realizando la nivelación, se deben de ir verificando los datos ya sea mediante el método de doble altura de aparato, el cual permite una tolerancia de 1 centímetro por kilómetro.

Para estos trabajos se recomienda hacer una nivelación diferencial. Pero se debe realizar cuidadosamente y contar mecanismos de verificación para obtener resultados satisfactorios.

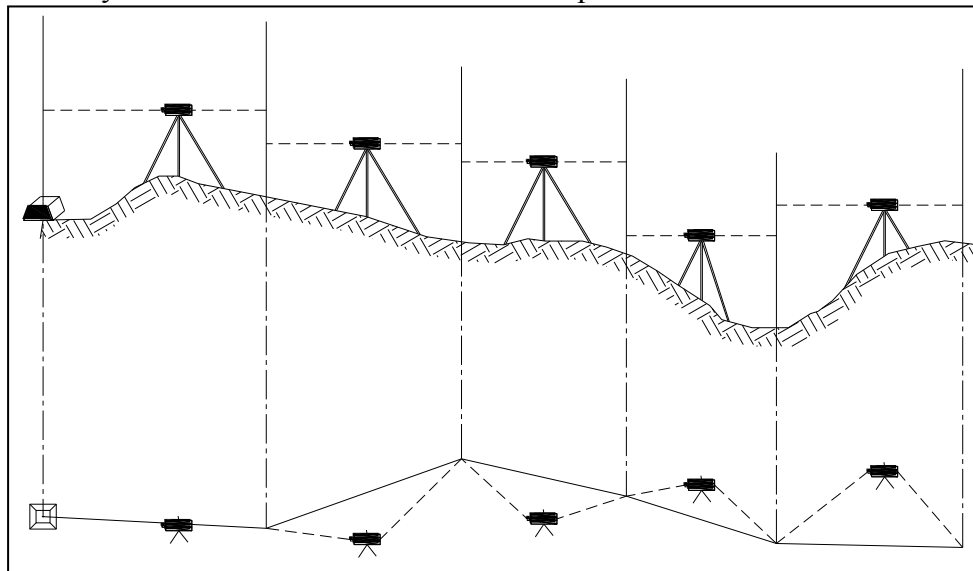


Fig. 2.6 Nivelación Diferencial.

Por lo regular se colocan bancos de nivel a cada 500 metros, referidos a las poligonales para su fácil localización.

Para poder referir la nivelación al nivel medio del mar, en algunos casos, se emplea una regla de mareas donde se hacen lecturas cada 15 minutos de los mínimos y máximos leídos debido al oleaje, y se obtiene la marea media.

La nivelación diferencial consiste en determinar la diferencia de niveles que existe entre 2 puntos determinados.

Para comprobar el cálculo de la nivelación, se determina la diferencia entre las sumas de todas las lecturas positivas y las negativas, dicha diferencia debe ser igual a la de la cota inicial y final.

La comprobación del trabajo de campo puede hacerse cerrando las nivelaciones en si mismas, o en otros BN cuyas elevaciones fueron determinadas con anterioridad, pudiéndose hacer por cualquiera de los siguientes métodos:

Regresando al punto de partida de la nivelación siguiendo el mismo, u otro, camino y admitiendo una tolerancia de  $0.01\sqrt{P}$ , en donde P es el total de kilómetros recorridos en ambos sentidos.

Cerrando la nivelación en un punto de cota conocida, en cuyo caso habrá una tolerancia de  $0.02\sqrt{P}$ .

Efectuando una doble, nivelación, para lo cual se llevan dos series de puntos de enlace (PL), que deberán registrarse por separado, en cuyo caso las diferencias de sumas de lecturas positivas deberá ser igual a la diferencia de las sumas negativas, teniendo una tolerancia de  $0.01\sqrt{PP}$ .

Llevando una doble nivelación y registro doble observando dos veces cada punto de enlace con diferentes alturas de aparato, con una tolerancia igual a  $0.02\sqrt{P}$ .

#### a) Especificaciones.

- El banco de nivel de partida para todas las nivelaciones será un banco establecido por el Instituto de Geofísica de la UNAM o del INEGI, tomando en cuenta que dicho banco puede ser de otra dependencia.
- Si no existieran bancos de nivel establecidos, entonces se obtendrá uno en función del registro del limnígrafo instalado en el lugar, referenciando la regla a un banco de nivel próximo, que será el banco de partida para todos los trabajos.
- Todas las nivelaciones serán de tercer orden, fijando bancos de nivel a cada 500 ó 1000 metros según la longitud de líneas por nivelar, regresando al punto de partida con tolerancia  $T= 10mm\sqrt{K}$ , si se parte de un banco de nivel de cota conocida y se llegará a otro de cota conocida, no es necesario regresar con la nivelación, teniendo una tolerancia  $T= 20mm\sqrt{K}$ , para este caso.



## **2.7 Configuración.**

La configuración tiene el objetivo de hacer el levantamiento de todos los detalles necesarios para el relleno detallado de los planos representativos del terreno levantado.

Estos levantamientos se pueden llevar a cabo mediante radiaciones, secciones transversales e intersecciones, combinándose, de acuerdo como sean las condiciones del terreno en que se trabaje, tratando de que la zona levantada quede lo más cubierta posible.

Las secciones transversales deberán apoyarse en puntos de cota conocida y se extenderán hacia un lado, o hacia otro, según sea necesario.

Las radiaciones se medirán desde cualquiera de las estaciones principales o secundarias, a lo largo de las poligonales, o caminamientos playeros, para determinar la forma correcta de la línea costera.

Los puntos de control que se fijen por medio de intersecciones deberán quedar definidos, por lo menos, por 3 visuales dirigidas desde estaciones de triangulación o poligonación según sea el caso.

## **2.8 Batimetría.**

Los levantamientos batimétricos tienen la finalidad de contar con un plano de perfil y planta correspondiente del fondo de la bahía o de la zona marítima que se va estudiar, para poder tomar en cuenta la configuración de estas zonas para el proyecto del diseño de las instalaciones marítimas del Sistema Portuario.

La batimetría es el equivalente submarino de la configuración terrestre; es el estudio de la profundidad marina, de la tercera dimensión de los fondos lacustres o marinos o sea el relieve de éstos. Un mapa o carta batimétrica normalmente muestra el relieve del fondo o terreno como isogramas, y puede también dar información adicional de navegación de la superficie. Originalmente, la batimetría se refería a la medida de la profundidad oceánica. Las primeras técnicas usaban segmentos de longitud conocida de cable o cuerda pesada, descolgadas por el lateral de un barco. La mayor limitación de esta técnica es que mide la profundidad en un solo punto cada vez, por lo que es muy ineficiente. También es muy imprecisa, ya que está sujeta a los movimientos del barco, las mareas, y las corrientes que puedan afectar al cable.

Los datos usados hoy en día para la confección de mapas batimétricos provienen normalmente de un sonar montado bajo la quilla o en el costado de un buque, lanzando una onda de sonido hacia el fondo marino. La cantidad de tiempo que tarda el sonido en ir a través del agua, rebotar en el fondo y al volver, informa al equipo la profundidad real. Años atrás, se podía calcular la media de cada uno de los impulsos individuales de un sónar para confeccionar un mapa continuo en lugar de una medición de puntos. Hoy día se puede usar un sonar de barrido ancho, consistente en docenas de ondas simultáneas, muy estrechas y adyacentes entre sí, formando un abanico de entre 90 y 180 grados.

El abanico de ondas sonoras, formado por los sonares de barrido ancho, permite una resolución y precisión muy altas. En general, aunque depende de la profundidad, permite a un buque cubrir mucha más superficie del fondo marino que a base de mediciones individuales. Las ondas se actualizan muchas veces por segundo (normalmente de 1 a 40 Hz, dependiendo de la profundidad), lo que permite al buque hacer pasadas mucho más rápidas, manteniendo una cobertura del fondo del 100%. Sensores adicionales corrigen la señal dependiendo de la inclinación y el movimiento del buque, y un girocompás proporciona información precisa de la dirección de la nave. Adicionalmente, un sistema GPS puede especificar la posición del buque. Se emplean también mediciones exactas de la velocidad del sonido en el agua para calcular la refracción de las ondas de sonido al atravesar capas de agua con distinta temperatura, conductividad y presión. Un sistema informático procesa todos los datos, corrigiendo según cada uno de los factores, así como por el ángulo de cada rayo individual. Al final, mediante este conjunto masivo de datos se consigue generar un mapa de forma casi automática.

Existen diversos métodos para la configuración del fondo del mar, algunos de los cuales son: *Método de obtención de fijas a bordo de la embarcación sondeadora, método de obtención fijas por medio de ángulos medidos desde tierra, método de intersecciones y enfilaciones para el control de los sondeos ejecutados en ríos y canales, método del radar.*

Por lo regular para el levantamiento batimétrico, a lo largo de los años, se ha usado principalmente el método de obtención de filas, por medio de ángulos medidos desde tierra y el método del radar, en la actualidad estos métodos han sido sustituidos por el uso del GPS a bordo de la embarcación.

A continuación se explica cada método.

#### ***Método de obtención de fijas por medio de ángulos medidos desde tierra.***

Para la mayor facilidad de ejecución de este método; se acostumbra hacer los recorridos de la embarcación en sentido normal a la costa, controlándose dicho recorrido mediante balizas localizadas en la playa para que el operador de la embarcación haga la enfilación adecuada.

Antes de iniciar los trabajos se determinan los intervalos de tiempo en los cuales se obtendrán las fijas, ya que deben de ser simultáneas.

En las zonas donde haya más accidentes del fondo marino, como pueden ser zonas de bajos o áreas profundas, se debe procurar que los sondeos sean más cercanos entre sí; de tal manera que se puedan obtener lecturas de las profundidades más precisas y se tenga una mejor configuración de estas zonas.

Una vez que ya se han definido los intervalos de tiempo en los cuales se obtendrán las fijas, se inicia el recorrido de la embarcación conservando lo más posible su ruta, desde la embarcación se harán las indicaciones para hacer las observaciones en tierra con los tránsitos y dados los intervalos de tiempo establecidos ir obteniendo las fijas.

Se aclara que los tránsitos deben localizarse sobre puntos de estación de alguna poligonal.

Se deben de hacer las anotaciones del ángulo horizontal y la hora a la que se hizo dicha observación.

A todas las lecturas registradas en la ecosonda, se les debe de hacer una corrección de acuerdo al nivel medio del mar o del plano de mareas al que está referido el levantamiento topohidrográfico. También se deberá hacer una corrección por transductor debido a la profundidad o longitud de dicho vástago bajo la superficie del agua.

La ecosonda es un aparato que envía una señal, bajo cierta frecuencia, hacia el fondo del mar; la frecuencia rebota y en la embarcación un transductor o receptor recibe dicha señal ultrasónica nuevamente. En la ecosonda se va registrando la profundidad en una gráfica, la cual va marcando una curva de tipo senoidal. Al marcar una fija, se registra en la gráfica la profundidad; así como también, se registra el tiempo en el que se efectuó la medición. A estas mediciones se les hacen las correcciones antes mencionadas.

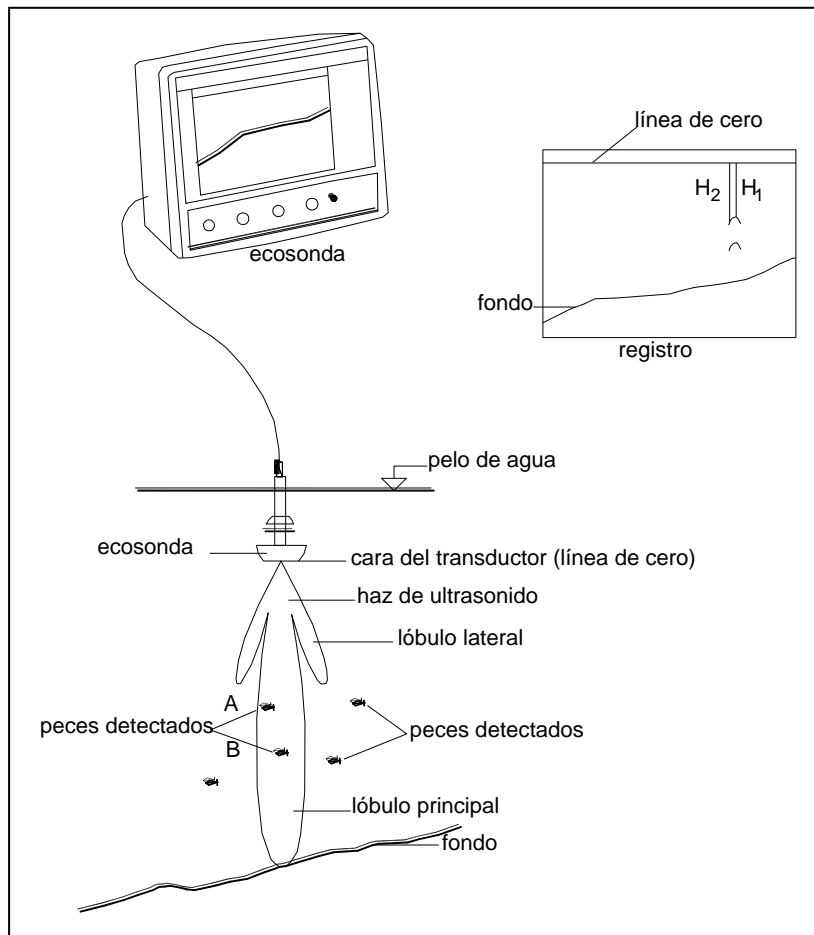


Fig. 2.7 Ecosonda.

Una innovación que tuvo este método; y que es de patente mexicana, se refiere a la obtención de fijas desde tierra mediante la intersección de las visuales de dos tránsitos, pero con la variante de que el operador del aparato no efectúa lecturas, sino que su único trabajo es el de realizar las visuales e ir enfocando la embarcación. Al apretar el botón de la ecosonda, para obtener una fija se dispara automáticamente una cámara que está montada en el tránsito y enfocada a las graduaciones; de esta manera mediante las fotos de cada fija se desechan posibles errores de lectura, ya que se puede contar con las lecturas verdaderas mediante las fotos obtenidas en ambos tránsitos.

Este procedimiento ya ha sido superado con el registro electrónico.

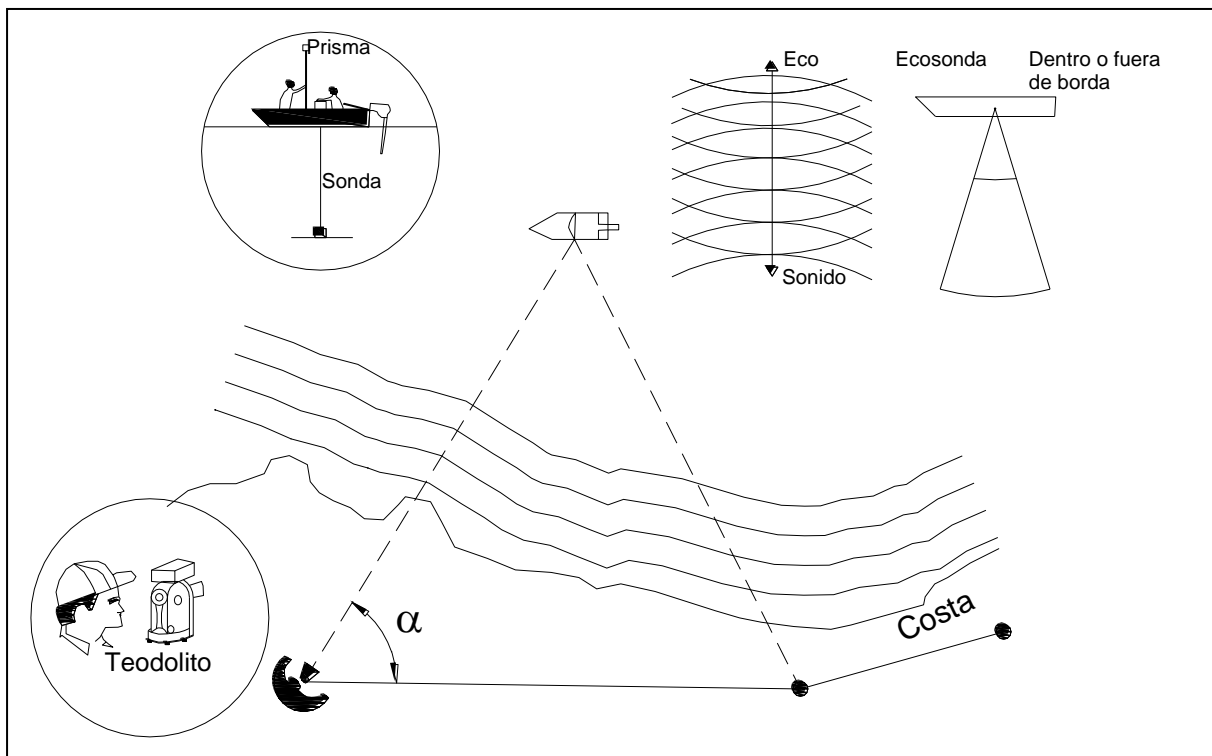


Fig. 2.8 Trabajos de batimetría.

### ***Método del radar.***

Este método consiste en obtener de una manera automática las posiciones de la embarcación mediante el uso de telurómetros especiales, que se colocan en dos estaciones ya conocidas pertenecientes a algún polígono de apoyo.

Una vez que se hayan hecho las correcciones y ajustes de los instrumentos, después de cierta señal se van determinando al mismo tiempo las mediciones que va indicando cada telurómetro.

De esta manera es fácil obtener la posición de la embarcación pues se conoce la distancia entre dichos aparatos colocados en tierra.

En la embarcación es necesario contar con dos reflectores de microondas emitidas por los telurómetros, y de esta manera se obtiene la medición.

El objetivo principal de la batimetría es el Control de Costas, lo cual se puede hacer mediante Secciones Transversales y Batimetrías periódicas para control de profundidades.

### ***Batimetría con uso del GPS.***

Para la realización de batimetrías se puede utilizar GPS por el método diferencial en tiempo real, es decir, se puede disponer de los datos la posición precisa en el instante de medición. Esto es posible gracias a un radio enlace entre la estación de referencia y el equipo móvil que va instalado en la embarcación.

La precisión que se puede obtener en la posición está condicionada por el tipo de observable que utilicemos, es decir, código o fase. Esta precisión va a ser la que determine la metodología de trabajo.

A continuación se exponen las dos tareas que tienen que cumplir un sistema para levantamiento batimétrico:

- 1.- Navegación, es decir, el sistema debe de ser capaz de indicarnos que camino debemos de seguir para no crear zonas de solapes indeseados, o bien, que nos indique por donde debemos llevar la embarcación por unos perfiles predeterminados.
- 2.- Sincronización de los datos recibidos por el instrumento de medidas de profundidades (ecosonda) y por el instrumento que nos indica planimétricamente, donde se ha producido esta medida de profundidad (GPS).

### **ECOSONDA Y GPS (con observable de código).**

Este es el método utilizado desde algunos años por numerosos profesionales para realizar levantamientos batimétricos y que muchos fabricantes de accesorios para la navegación, han incorporado en su gama de productos como equipos estándar y soluciones totalmente terminadas, pero que solamente se pueden utilizar para levantamientos expeditos con precisión del entorno del metro.

Básicamente el equipo se compone de los siguientes elementos:

Se estaciona en tierra en un punto de coordenadas conocidas, un equipo de una o dos frecuencias enviando por un Radio Modem correcciones estándar de código RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services).

En la embarcación se coloca un equipo GPS de una frecuencia (Suficiente para este tipo de aplicación) y la ecosonda digital. Es importante instalar la antena GPS sobre la misma vertical que el transductor de la ecosonda, de esta manera no será necesario el realizar correcciones por la excéntrica de antena GPS y transductor.

Una vez instalados estos dos elementos, se envía a través de los puertos serie de un PC el mensaje NMEA corregido de pseudodistancia, desde la estación de tierra; y por otra parte la lectura de profundidad desde la ecosonda.

En el PC va instalado un programa de navegación, que es el encargado de realizar las dos tareas que debe de realizar un equipo batimétrico: navegación y sincronización de los datos procedentes de la ecosonda y el GPS (X,Y,Profundidad).

Se le llama solución estándar porque los programas de navegación incorporan el protocolo de comunicación con las distintas marcas y modelos de GPS, así como de ecosondas.

Este sistema proporciona un rendimiento inigualable comparado con cualquiera de los métodos anteriormente citados, ya que podemos levantar puntos (X, Y, Profundidad) con cadencia de un segundo e incluso de fracciones de segundo.

Por otra parte, tampoco es necesario un operario en tierra que vaya guiando la embarcación, puesto que dispondremos de la información necesaria para situarlo con suficiente precisión sobre el perfil teórico.

Pero por el contrario tendremos estos errores e inconvenientes:

1.- Error en la posición de carácter submétrico debido a la precisión que proporcionan las observables GPS de solo Código.

2.- Errores debido a la sincronización entre el instante de toma de posición y profundidad: Los programas estándar de navegación no están diseñados para trabajar con un alta precisión, ya que la sincronización se realiza con asignación de tiempos por entrada de datos en las puertos serie del PC. Hay algunos programas de navegación, en los cuales podemos introducir un retardo aproximado desde el instante de toma de posición, o profundidad, hasta el momento de anexión de datos de profundidad y posición.

Se puede estimar que este retardo es variable en función de diversos factores, estimando que el retardo sufrido se halla en el entorno de 1 a 3 segundos. Este error se hace patente cuando el terreno a levantar tiene una gran pendiente y conforme se aumenta la velocidad de desplazamiento de la embarcación.

3.- Sigue indeterminado el problema de mareas y oleaje de una manera integrada en el, mismo sistema, debiendo corregir estos errores del mismo modo que en los métodos anteriores.

4.- Se precisa de instrumentación clásica para realizar el trabajo de tierra; cabecera de perfiles, bases, etc.

ECOSONDA DIGITAL Y GPS (Con observable de fase).

Básicamente el sistema se compone de los siguientes elementos:

1.- Como estación de referencia dispondremos de un receptor GPS de doble frecuencia, Unidad de Control conectada a un Radio Modem, enviando correcciones de código y mensaje con observable de fase en tiempo real.

2.- Como se muestra en la figura 2.9, el sistema a bordo de la embarcación está compuesto por:

- Un receptor GPS de doble frecuencia, Unidad de Control en la que corre el software para el tratamiento de observables de fase en tiempo real, Radio Modem recibiendo las correcciones procedentes del equipo de referencia, ecosonda digital y PC portátil.

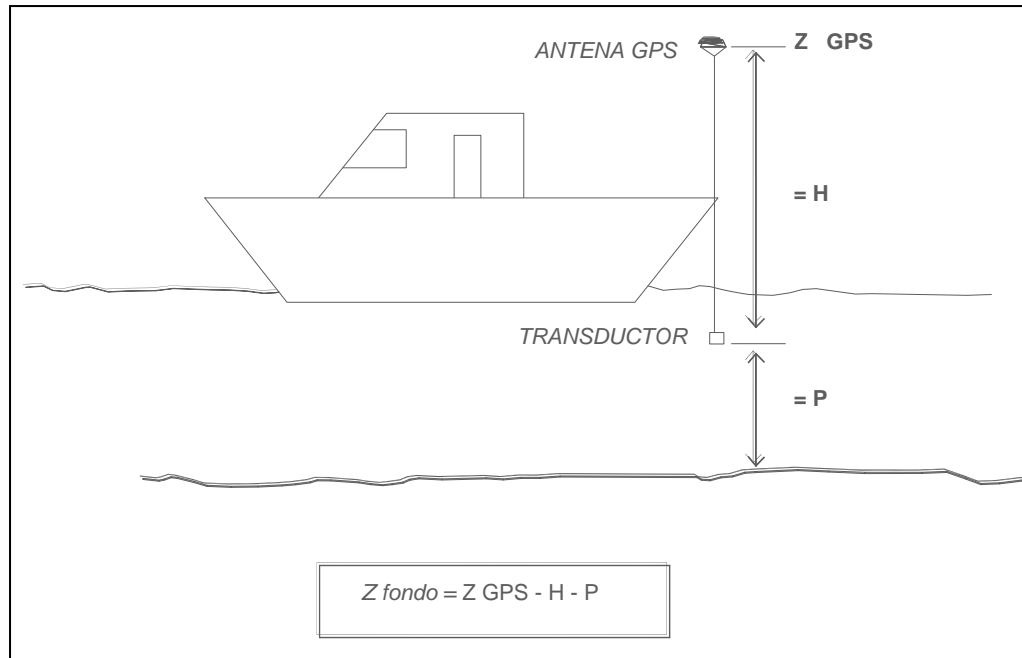


**Fig. 2.9** Equipo para batimetría con GPS

En cuanto a las conexiones, se puede observar que existen dos variantes, en relación al sistema estándar de batimetría con GPS.

a) En primer lugar, consideramos el hecho de utilizar como opción más aconsejable, receptores de doble frecuencia, puesto que al trabajar con medidas de fase, es necesaria la inicialización para la resolución de ambigüedades, y tan solo los equipos de doble frecuencia son capaces de inicializar en movimiento (OTF), evitando por tanto, tener que desmontar el equipo de la embarcación e inicializar en tierra cada vez que el sistema se quede con menos de 4 satélites. Con un equipo de estas características y utilizando el método apropiado, se puede obtener en tiempo real, coordenadas en el sistema de referencia Local, con precisión de 2 a 3 cm + 1 ppm, tanto en planimetría como en altimetría. El hecho de obtener la cota del punto

nos permite realizar la batimetría sin tener en cuenta el estado de la marea, y corregir la variación de altura de la antena GPS-transductor, debido al oleaje.



**Fig. 2.10 Obtención de Z del fondo**

b) En segundo lugar, se consigue un grado de sincronización mucho más alto debido a que todos los registros tomados, tanto la posición de la antena GPS (X,Y,Z) como la profundidad medida por la ecosonda, incorporan una señal de tiempo enviada por el receptor GPS, que nos permite realizar una correlación entre ambas medidas.

Para ello es imprescindible que la ecosonda incluya la posibilidad de entrada del mensaje NMEA (el cual incluye el instante de la toma de la posición en Tiempo GPS), para que de esta manera asocie instante de toma de posición (X,Y,Z) al instante de toma de profundidad.

Los datos de profundidad, más tiempo, quedan almacenados en el PC portátil, el cual incluye el software de navegación, cuya única misión, es la de planificar los perfiles y guiarle por ellos. De esta manera evitamos la deficiente sincronización que nos proporciona este tipo de programas.

Existe una configuración alternativa que nos permite simplificar el sistema. Para ello es necesario que el sistema GPS posea una Unidad de Control con la capacidad de gestión y replanteo de líneas (perfiles), como por ejemplo la CR344 del Sistema 300 de Leica, que fue el equipo con el que se realizaron todas las pruebas.

De este modo, podemos eliminar de la configuración el software de navegación y sustituir el PC por un Palmtop PC cuya autonomía y tamaño es más apropiado para su instalación en pequeñas embarcaciones.



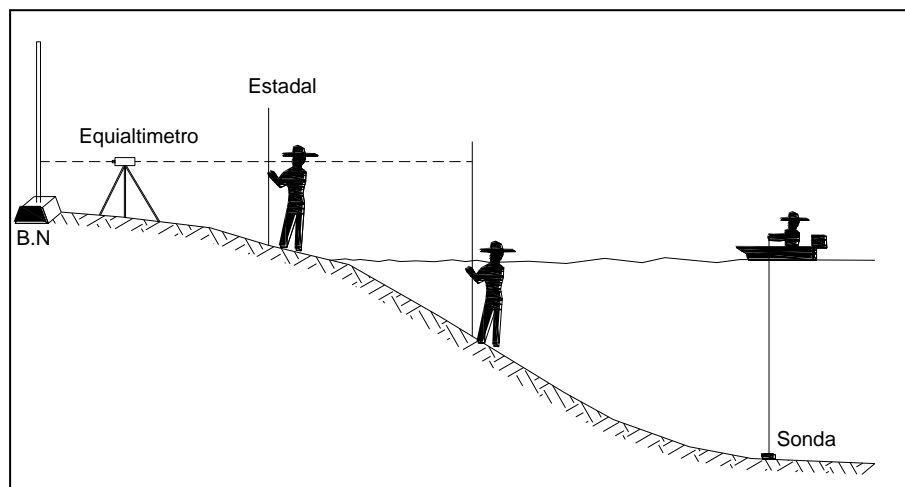
### ***Secciones transversales para el control de playas.***

El objetivo que se persigue, al obtener las secciones transversales en las playas, es el de conocer con la mayor aproximación posible, los cambios que sufren éstas a través del tiempo, pudiéndose valorar así; los depósitos o erosiones que experimentan las zonas en estudio, conocer el transporte de litoral o materiales sólidos que pasan por ellas y conocer su estabilidad.

Este estudio deberá complementarse con observaciones de oleaje, muestreo de materiales y mediciones de corrientes, teniéndose así un estudio más completo a fin de analizar correctamente el fenómeno.

### **Batimetría periódica para el control de profundidades.**

Los fenómenos marítimos tales como el oleaje, corrientes, acarreo de litoral, así como obras ejecutadas por el hombre (como el dragado, construcciones marinas, etc.,) hacen que los fondos marinos experimenten modificaciones, y es posible conocer dichos cambios haciendo comparaciones con batimetrías periódicas.



**Fig. 2.11 Determinación del perfil de playa.**

### ***Especificaciones.***

Se harán seccionamientos playeros para la obtención de la topografía y batimetría de una zona de estudio, a partir de niveles corregidos de vértices de poligonales y estacas intermedias, tomando en cuenta lo siguiente:

- Las secciones playeras que se ejecuten se podrán hacer en un frente marítimo, en bocanas, en playas de esteros y lagunas interiores, en estuarios, etcétera.
- Estas secciones se llevarán a cabo adentrándose en el agua hasta rebasar la cota batimétrica de 1.00m, con el propósito de establecer una liga entre los trabajos terrestres y los trabajos marítimos y poder hacer una configuración correcta.

- Las equidistancias de las secciones playeras serán de 100 metros si la playa es recta y de 50 metros si no lo es. Se deben hacer secciones extraordinarias en donde se requiera, para representar el contorno del litoral.
- Se prolongarán las secciones hacia tierra para cubrir una franja de 100 metros de litoral si es que no existen obstáculos que lo impidan con el fin de representar la topografía de esa franja para fines de obras complementarias o de proyecto.
- En casos específicos se podrá ampliar la franja de 100 metros, requiriéndose otro tipo de apoyo; como por ejemplo: poligonales auxiliares o radiaciones.
- Para los estudios topohidrográficos se hará topografía de reconocimiento y de detalle, en zonas de estudio adyacentes a un frente marítimo, en cordones litorales, áreas adyacentes a lagunas y esteros. Así mismo se harán batimetrías solamente con ecosonda en bocanas, frentes marítimos, esteros, lagunas y ríos. Estos estudios topohidrográficos se realizarán tomando en cuenta los siguientes puntos:
  - En cordones litorales, se hará el levantamiento topográfico a través del mismo en todo su ancho y en el frente marítimo que se especifique; con apoyo en la poligonal principal o bien con poligonales auxiliares ligadas a la principal, este levantamiento se hará por el método de radiaciones.
  - En el área adyacente al frente marítimo, lagunas o esteros, se hará el levantamiento topográfico conforme al mismo procedimiento anterior, en la magnitud que se especifique para cada caso.
  - Se hará la batimetría con ecosonda en; bocanas, canales, ríos y esteros a toda su profundidad. En las áreas bajas, en que no pueda navegar la lancha, se cubrirá con seccionamientos playeros o bien intersectando un estadal que se irá desplazando y tomando la lectura del estadal correspondiente al nivel del agua. La equidistancia de enfilación de la lancha será la misma que la de los seccionamientos, correspondiendo a su prolongación.
  - Se hará una batimetría con ecosonda en todo el frente marítimo conforme al mismo procedimiento mencionado hasta llegar a la cota -10.00 metros, si no se especifica otra cosa, y en el caso específico que esta batimetría esté muy alejada se procurará rebasar la cota - 5.00 metros.
  - Si en el frente marítimo hay una zona de rompientes permanentes, se debe procurar configurarla, conforme a la prolongación de la pendientes playeras y la del fondo que da el registro de la ecosonda después de las rompientes; para lo cual habrá que sondear hasta la cota -20.00 o -30.00 metros para tener una base para configurar.
  - Se hará batimetría de reconocimiento en esteros y lagunas de grandes dimensiones con la finalidad de conocer en forma general las profundidades existentes, con el fin de estudiar con mayor detalle una zona específica dentro de estos, o una ruta de un canal de navegación, o cualquier otro objetivo que interese.

## 2.9 Fotogrametría.

La fotogrametría es la ciencia o arte de obtener medidas por medio de la fotografía. Pasando de la proyección cónica del objeto fotografiado a la proyección ortogonal del plano mediante una operación fundamental que recibe el nombre de “Restitución Fotogramétrica.”

La fotogrametría tiene gran importancia debido a las siguientes características:

- Rapidez de los procedimientos que se traducen en ahorro de tiempo y dinero.
- Gran riqueza de información; ya que, las fotografías muestran, tanto los grandes accidentes como los pequeños, quedando dicha información permanentemente impresa.
- Carácter estereoscópico de las fotografías, lo que permite examinar los objetos con todo detenimiento dentro de la comodidad de un gabinete.
- Posibilidad de enmendar errores sin regresar al terreno.
- Universalidad de empleo de las fotografías, ya que se obtienen para un fin determinado y se les puede dar distintos usos. Estos documentos se pueden emplear en la elaboración de planos y en la fotointerpretación de la naturaleza de los detalles.

La fotogrametría tiene muchos campos de aplicación, aunque el principal es el cartográfico, en donde ocupa un sitio de gran importancia; de tal manera que si se trata de levantar áreas de considerable amplitud, se hace utilizando estos métodos y no por los convencionales que resultan más costosos y tardados.

Sin embargo, la fotogrametría no excluye los métodos terrestres de levantamiento, si no que se complementa con ellos, puesto que estos métodos son los que le proporcionan los datos, de escala y orientación, esenciales en todo documento cartográfico.

### Levantamientos Aerofotogramétricos.

El método fotogramétrico más recomendable para levantamientos es el de aerofotografía, o sea el de tener fotografías aéreas que cubran toda el área con vistas normales, a una escala y sobre posiciones adecuadas a las necesidades de cada caso.

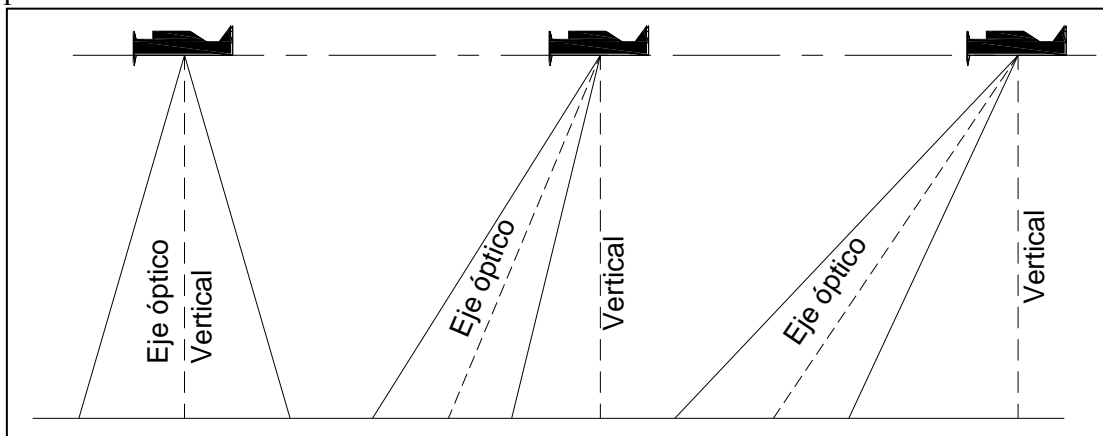


Fig. 2.12 Fotografías aéreas (Verticales u Oblicuas).

En la aerofotogrametría pueden utilizarse vistas inclinadas o verticales. Las primeras tienen la ventaja de que cubren mayores áreas de terreno; pero, en cambio, pierden claridad al aumentar las distancias, la restitución fotogramétrica es más complicada y conduce a mayores errores sistemáticos, por lo que en general deben preferirse las vistas verticales.

La precisión de los levantamientos aerofotogramétricos depende directamente de la calidad, cantidad y situación de los puntos que servirán de control terrestre.

### Puntos de control.

En algunos tipos de trabajo, se realizan primero los vuelos para obtener fotografías del área, que se aprovechan para seleccionar los puntos de control, procurando que ofrezcan las mayores ventajas de situación y accesibilidad. En otro tipo de trabajos se puede proceder a la inversa, o sea, que primero se establece el control terrestre y después se realizan los vuelos para obtener las fotografías.

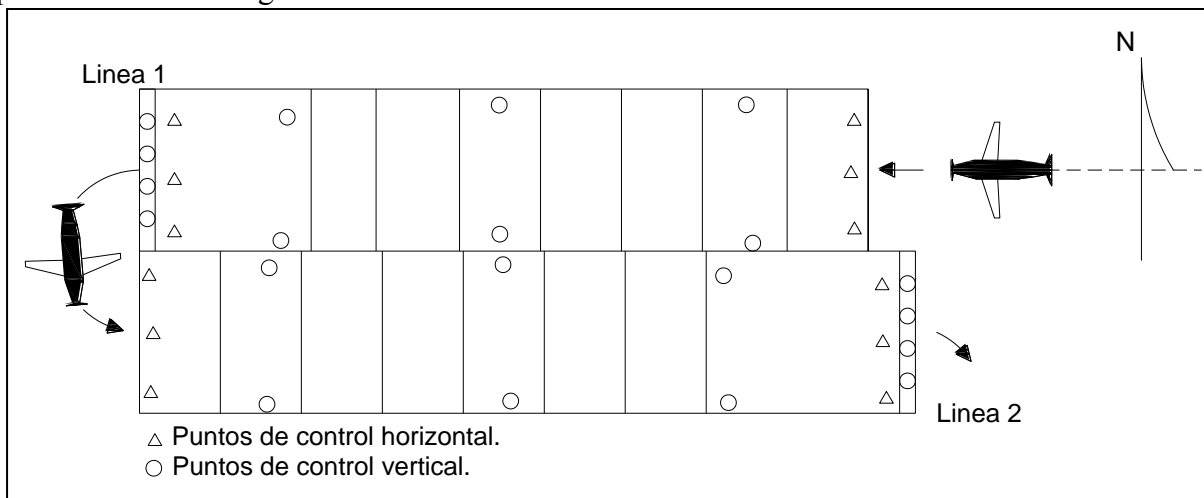


Fig. 2.13 Mosaico aerofotográfico.

Tanto para la formación de mosaicos rectificadas como para la restitución estereoscópica destinada a elaborar planos topográficos con curvas de nivel, es indispensable contar con gran número de puntos de control fijados por métodos terrestres, ya que éste es el factor determinante para conseguir un buen trabajo.

Todos los puntos que integran el control terrestre deben estar situados con igual aproximación y distribuirse convenientemente. En términos generales en levantamientos fotogramétricos, con sobreposición del 60% en las líneas de vuelo y del 20% entre estas líneas para obtener la rectificación de las vistas, es suficiente un punto de control para cada fotografía.

Se usan diferentes clases de referencias para indicar los puntos de control; los más comunes son el centro de un círculo, el vértice de una construcción o la intersección de las líneas de una cruz (+), usando esta última de preferencia.

La señal debe pintarse de manera que contraste con el color del terreno; si éste es de color oscuro, como generalmente ocurre, se empleará una lechada de cal debidamente preparada para que no se borre con facilidad, si el terreno es de color claro debe usarse pintura negra de agua.

En las zonas cubiertas de vegetación tupida, es conveniente formar la señal del punto de control cruzando la línea de trazos ya sea una poligonal o de una cuadrícula, con una brecha perpendicular, tres veces más ancha que las especificadas para las señales pintadas pero de igual longitud, o sea que en trabajos a escala de 1: 20, 000, la brecha perpendicular por 20 metros de longitud, 10 metros a cada lado del eje de la brecha que se usa para el trazo de la línea. Esto se debe a que la película fotográfica es muy sensible a los colores blancos y negros cuando contrastan; y en cambio las brechas son muy opacas, y las señales formadas por este procedimiento deben ser más gruesas para que se registren en la fotografía.

Para la formación de mosaicos rectificadas o foto planos no se requiere la misma precisión en los puntos de control que para formar los planos topográficos con curvas de nivel mediante restitución fotogramétrica.

La tolerancia que se admite para localizar los puntos de control ocupados en los mosaicos rectificadas está dada por la fórmula:

$$T = \frac{0.001}{E}$$

Donde

T = Tolerancia, en metros, para localizar los puntos de control.

E = Escala del mosaico rectificado.

En general, para establecer puntos de control en trabajos de restitución fotográfica, destinados a formar planos en escala 1: 5 000 con curvas de nivel equidistantes 1 metro deben aceptarse las siguientes tolerancias.

En Planimetría: 0.20 m.

En Altimetría: 0.05 m

En trabajos menos precisos para formar planos con curvas de nivel equidistantes 5 metros, la tolerancia se amplía en:

Planimetría: 0.50 y 1.00 metros.

Altimetría: 0.20 y 0.40 metros.

### **Apoyo terrestre para los puntos de control.**

El apoyo topográfico para establecer puntos de control debe consistir de preferencia en una cuadrícula rectangular, y sólo en los casos en que está no pueda trazarse por las características de la zona, debe emplearse un sistema de triangulación con poligonales auxiliares o bien un sistema de poligonales.

La densidad del control terrestre dependerá de la escala del vuelo fotográfico, de la sobreposición de las fotografías, de la pendiente general del terreno y de la clase de trabajo que se esté realizando.

### **Vuelos fotogramétricos.**

Una vez que se ha establecido y referenciado el control terrestre, se procede a hacer los vuelos para obtener las fotografías.

Este trabajo se realiza generalmente mediante contrato con una compañía especializada y de acuerdo a las siguientes especificaciones:

- a). Se tomarán fotografías verticales, con cámara equipada con lente gran angular libre de distorsiones.
- b). Los vuelos se harán en dirección Norte-Sur o Este-Oeste.
- c). La escala de vuelo se adoptará de acuerdo a las necesidades de cada trabajo.
- d). La sobreposición de las fotografías en el sentido del vuelo será entre 55 y 70 % y la transversal tendrá como mínimo el 15 %.
- e).- Las fotografías deberán estar libres de humo, manchas, brillo solar, nubes o cualquier obstáculo que le reste claridad.
- f).-El recubrimiento del área por volar será estereoscópico. Esto se logra si se cumple el inciso d.

**Tabla 2.1.- Especificaciones para las señales de acuerdo a las diferentes escalas de trabajo.**

ESCALA DE LAS FOTOGRAFÍAS DE CONTACTO	DIMENSIONES DE LOS BRAZOS DE LA SEÑAL, EN METROS	
	LARGO	ANCHO
1 : 10, 000	10	0.50
1 : 20, 000	20	1.00
1 : 30, 000	30	1.50

### **Especificaciones.**

Se harán mosaicos aerofotográficos en todas las lagunas, bahías cerradas, ríos y esteros, donde se proyecte un acceso a marea libre con la finalidad de cuantificar el área de agua para proyectar las obras de acceso que se requieren, tomando en cuenta las siguientes indicaciones:

- En lagunas litorales de 30 km de longitud o más grandes, se harán a escala aproximada de 1: 50, 000 para representarlo en una sola hoja, debiendo cubrir la totalidad del área de la laguna, la del cordón litoral y una parte de aproximadamente 500 metros de mar; además de una franja marginal de 500 metros alrededor de la laguna.
- En esteros estrechos, paralelos a la costa, y también de gran longitud, se harán a una escala aproximada de 1:50, 000, representando la longitud del estero en su totalidad;

además del cordón litoral, una franja de mar de 500 metros y otros 1000 metros de margen continental.

- En bahías cerradas comunicadas con el mar a través del cordón litoral con una o más bocas, se procederá como en el caso de las lagunas litorales.
- En ríos y esteros fluviales de gran extensión ramificados se harán a una escala aproximada de 1: 50, 000, excepto en el caso de ríos o tramos de éste de una sola rama general, en este caso se harán a escala 1:5, 000.

### ***2.10 Uso del GPS en los estudios topográficos.***

Cabe mencionar que con el avance de la tecnología han sido creados instrumentos que simplifican el trabajo del ser humano. Hablando en particular de la topografía, en los últimos años, la incursión del Sistema de Posicionamiento Global, por sus siglas en inglés GPS, en el mercado mundial ha traído grandes beneficios al ingeniero topógrafo.

En la actualidad; los trabajos creados de topografía se apoyan del uso del GPS; el cual, con el avance de los años, ha tenido una dependencia cada vez mayor debido a la eficacia que ofrece. El uso de este sistema reemplaza los trabajos de triangulación; ya que se puede conocer la información de algún punto de interés o varios de forma individual sin tener que hacer todo el procedimiento que se mencionó anteriormente. Además que ofrece una mayor precisión y resulta más económico en tiempo y costo. Para los trabajos de batimetría, ya no es necesario posicionar la embarcación mediante fijas, ya que se pueden hacer mediante un GPS colocado en la embarcación. Igualmente para los trabajos de aerofotografía, el GPS, es de gran utilidad.

El Sistema de Posicionamiento Global se basa en la utilización de satélites; esta tecnología fue desarrollada por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América, y se diseñó para apoyar los requerimientos de navegación y posicionamientos precisos con fines militares. Actualmente, se ha convertido en una herramienta muy importante para aplicaciones de navegación, posicionamientos en puntos de tierra, mar y aire.

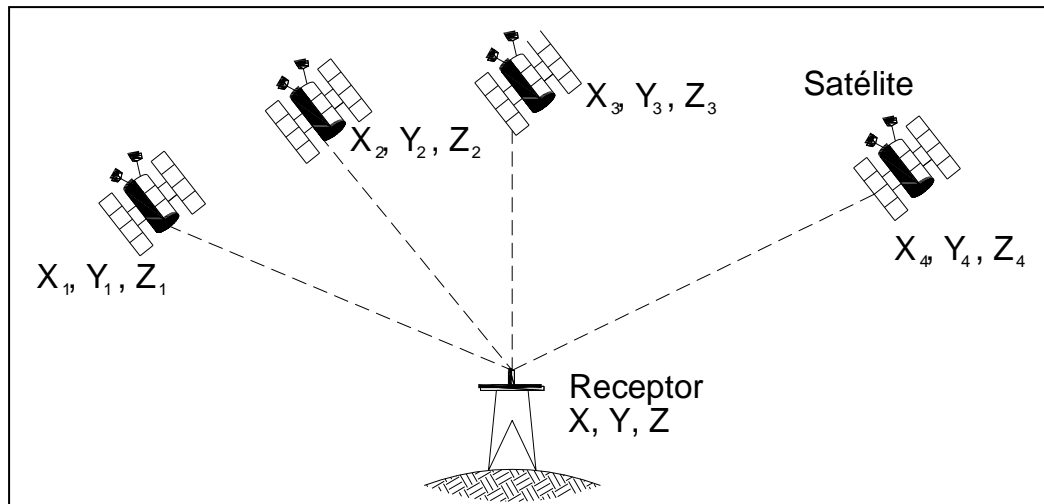


Fig. 2.14 Sistema de posicionamiento por satélite.

### Funcionamiento del GPS para determinar la posición de un punto ubicado sobre la superficie de la Tierra.

El software instalado en el receptor realiza un primer cálculo de la posición de un punto al captar la señal de los satélites, misma que es procesada en una computadora que utiliza un software especial. La posición del receptor es determinada a través de una serie de mediciones de pseudo-distancias en un instante determinado; estas pseudo-distancias son utilizadas conjuntamente con las posiciones de los satélites al instante de emitir las señales. Los propios satélites emiten los datos de su posición orbital o datos de sus efemérides que permiten conocer su ubicación y calcular la posición del receptor en la Tierra. La posición tridimensional del receptor es el punto donde las pseudo-distancias de un grupo de satélites se intersectan.

Una buena precisión de los puntos medidos depende del número de satélites observados, de la señal de ruido, elevación de la máscara, línea base, la geometría de la constelación y el tiempo de observación del punto o vértice por posicionar.



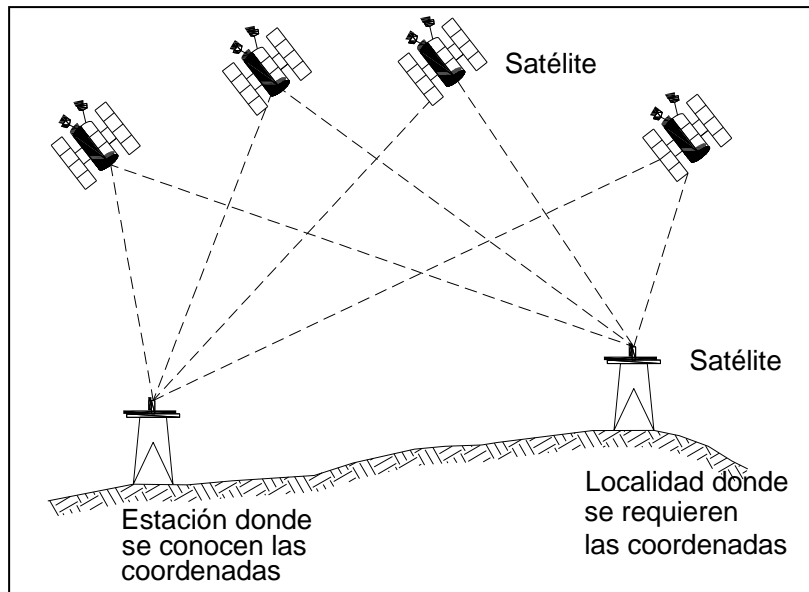


Fig. 2.15 Posicionamiento diferencial.

### Etapas de un levantamiento con GPS.

Todo levantamiento con GPS para cualquiera que sea el fin, deberá hacerse siguiendo una secuencia operativa que contemple las siguientes etapas:

- Planeación.
- Reconocimiento.
- Establecimiento de puntos base.
- Levantamiento de la información geográfica.
- Procesamiento de la información.
- Evaluación.
- Memoria de los trabajos.

#### - Planeación.

Consiste en la determinación de las condiciones, de las técnicas, de los recursos y la factibilidad para la realización de un levantamiento con GPS. En esta etapa se analizarán los factores físicos que incidirán durante la medición y que afectarán la precisión del levantamiento; la disponibilidad de los recursos económicos, materiales y humanos, procurando no apartarse de los procedimientos establecidos del proyecto.

Los cuales pueden ser vías de acceso a la zona del levantamiento, plano de la localidad actualizado, número de equipos GPS a utilizar, número de técnicos que participaran en el proyecto, vehículos disponibles, recursos económicos que consumirá el proyecto, tiempo en el que se realizará el levantamiento; así como todos aquellos factores que se requieran considerar como parte de la planeación, atendiendo situaciones locales en la zona de trabajo.

- Establecimiento de puntos base.

Son las actividades encaminadas a obtener uno o más puntos ligados a la Red Geodésica Nacional Activa del INEGI, y que se utilizará para la corrección diferencial GPS (DGPS) de las observaciones efectuadas durante el levantamiento de los vértices.

Los levantamientos que se realizan empleando el servicio de corrección diferencial en tiempo real vía satélite, radiofaro o cualquier otra fuente proveedora de este servicio. Al no requerir post-proceso, no necesitan el establecimiento de una estación base, sin embargo se recomienda realizar esta actividad en previsión de posibles problemas en la recepción de la señal de este servicio.

Esta etapa del levantamiento se llevará a cabo conforme a alguna de las siguientes opciones, dependiendo de la situación que se presente en cuanto a la existencia de puntos previamente establecidos y a la disponibilidad de equipos.

*Opción 1: Uso de placas registradas en el banco de datos geodésicos.*

Una alternativa es el establecimiento del control geodésico para los levantamientos de cartografía censal, será aprovechar puntos establecidos en otros proyectos, siempre y cuando se tengan validadas en el Banco de Datos Geodésicos de la Subdirección de Geodesia y sus coordenadas cumplan con lo especificado en las normas técnicas elaboradas por la misma subdirección, referentes a ligas a la Red Geodésica Nacional Activa (RGNA), con los estándares de exactitud y precisión.

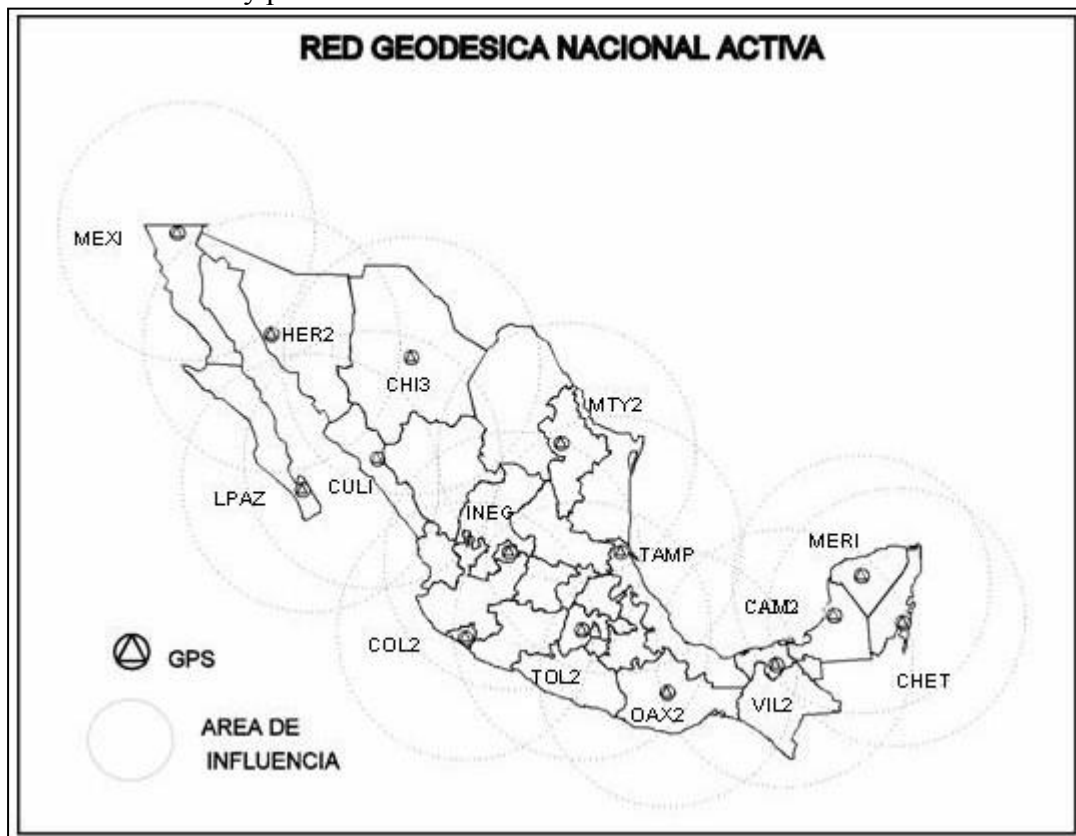


Fig. 2.16 Estaciones de la Red Geodésica Nacional Activa de INEGI.

Si la estación base coincide con uno de estos puntos, los trabajos de monumentación o plaqueo se omitirán, únicamente se registrarán los datos de dicha estación.

*Opción 2: Determinación del control geodésico con equipo de dos bandas.*

La determinación de la posición de la estación base será mediante liga a la Red Geodésica Nacional Activa (RGNA), al menos a dos estaciones fijas seleccionando las que estén en un radio menor a 300 Km. del área del punto de interés.

Se usará equipo de doble banda, midiendo sesiones de 2 horas mínimo. Se procesará la información colectada y se obtendrán los vectores de cada estación fija al punto por determinar. Para esto se utilizarán los programas de proceso de información de GPS que sean compatibles con el formato de los archivos generados en campo.

*Opción 3: Determinación del control geodésico con equipo de una banda, a partir de un punto de coordenadas conocidas.*

En caso de que por circunstancias especiales se deba realizar el proceso con equipo de una banda, se obtendrá información del banco de datos geodésicos de la Subdirección de Geodesia, sobre puntos de control en el área geográfica cercana a la localidad, analizando su origen, precisión, distancia relativa a la localidad, para seleccionar los que estén en un radio menor a 40 km.

A partir del punto anterior se utilizarán dos equipos de una banda, uno puesto en modo base en la placa de origen con coordenadas publicadas y otro en el punto previamente monumentado, en modo móvil.

- Levantamiento de información geográfica.

Las operaciones de campo referentes al levantamiento de información geográfica, estarán constituidas por el conjunto de observaciones con equipo GPS que se realicen directamente sobre el terreno para llevar a cabo el levantamiento.

Las observaciones se harán en los tiempos y períodos que se especifiquen para cada caso, evitando las medidas en condiciones ambientales extremas y cuidando no exceder los límites de operación especificados por el fabricante del instrumento.

*Aspectos a considerar durante el levantamiento.*

- La máscara de elevación sobre el horizonte para la mejor recepción de la señal de los satélites deberá ser a  $10^\circ$  en la estación base y a  $15^\circ$  en los equipos móviles.
- La antena deberá instalarse tratando de minimizar los efectos de rebote de las señales electromagnéticas. En lo general, se deberán evitar la medición en puntos cercanos a estructuras u otros cuerpos que puedan causar interferencia en la señal.

- Medir la altura vertical de la antena sobre la marca de estación.



**Fig. 2.17 Antenas de estaciones de la RGNA de INEGI.**

- Evitar los levantamientos en áreas donde se produzcan transmisiones radiales, radares de frecuencia media, estaciones de microondas, antenas de transmisión de alta potencia, transformadores de alta tensión, sitios en que se produzca una alta interferencia causada por los sistemas de ignición vehicular y líneas de conducción eléctrica de alto voltaje.

# **ESTUDIOS METEOROLÓGICOS**

## **CAPITULO III**

### 3. Estudios Meteorológicos.

Para poder contar con información completa sobre los fenómenos meteorológicos en la región donde se planea construir el Sistema Portuario, es necesario que se acondicione una estación meteorológica que funcione adecuadamente durante el tiempo que duren los estudios.

Primeramente es necesario localizar el sitio más adecuado en donde puede instalarse la estación. Posteriormente, se determinará la meridiana del lugar, con el objetivo de que los instrumentos, especialmente la veleta, queden correctamente orientados, empleando para esto cualquier método sencillo de orientación astronómica.

La estación deberá estar protegida, con el fin de que no accedan a ella personas ajenas o algún animal y ocasionen destrozos o lesiones a los instrumentos.

Para que la estación funcione a la perfección, es fundamental que no exista ningún obstáculo que impida la libre circulación del aire en toda la instalación.

Se omitirán igualmente aquellos objetos que puedan reflejar el calor, que puedan interceptar la caída de las gotas de lluvia o que puedan desviar la circulación de las corrientes de aire.

La distancia límite de la tolerancia que puede admitirse, para objetos cercanos a la estación, es de una y media veces la altura de los mismos.

#### DISTRIBUCIÓN, ORIENTACIÓN Y ALTURA DE LOS APARATOS.

La colocación de los instrumentos es de suma importancia, ya que esto garantizará el correcto funcionamiento de los aparatos, además de que facilitará el uso y la obtención de datos de los mismos. Se debe poner cuidado de que no exista interferencia entre ellos debido a su proximidad.

En lo que se refiere al termómetro, es indispensable que la puerta quede localizada hacia el norte, con la intención de evitar la entrada directa de los rayos del sol, que provocarían alteraciones en las temperaturas máximas y mínimas; esto es si la estación se encuentra en el hemisferio norte, si la estación se encontrará en el hemisferio sur, la orientación de la puerta de abrigo del termómetro será hacia el sur.

El pluviómetro debe colocarse en la parte sur de la estación y, debe procurarse que los aparatos tengan la altura indicada. En lo que se refiere al barómetro, éste puede situarse en cualquier lugar conveniente.

#### OPERACIÓN.

Para tener una buena obtención de datos de la estación meteorológica, es recomendable seguir una serie de pasos para operar cada uno de los aparatos, los cuales se mencionan a continuación:

Considerando por experiencia que la temperatura mínima se presenta después de la salida del sol, aproximadamente a la 8:00 hrs., es recomendable hacer las lecturas a esa hora de la mañana.

Después de hacer la observación se deben anotar los datos en la hoja de registro correspondiente.

A continuación se muestra el contenido que debe de llevar una hoja de registro.

- Anotar la fecha correspondiente al día de la observación.
- Observar primeramente el termómetro, anotando en la hoja de registro correspondiente, los valores de las temperaturas máximas y mínima del día anterior y el ambiente en el momento de hacer la lectura. Se deben de mover los indicadores del termómetro hasta colocarlos coincidiendo con la columna de mercurio, utilizando para esto un pequeño imán.
- Observar y anotar la altura de la precipitación que esté registrando el pluviómetro, dicha medida corresponde a las 24 horas anteriores a la lectura, se vacía el pluviómetro después de la lectura para que quede listo para el nuevo registro.
- Observar la veleta y anotar el rumbo que esté siguiendo el viento.
- Si se tiene anemómetro o si la veleta está acondicionada para registrar la velocidad del viento, se anotará también este valor.
- Se anotará el estado general que haya reinado durante el día anterior, pudiendo ser: caluroso, ventoso, lluvioso, frío, neblinoso, etc.
- Se debe anotar el estado de la nubosidad que haya existido durante las 24 horas anteriores; nublado, medio nublado o despejado.
- Los vientos locales tienen su máxima velocidad diaria, 2 ó 3 horas después del medio día, por lo que si se cuenta con un anemómetro se deberán hacer las lecturas a esa hora, debiéndose esta máxima velocidad del viento al gradiente barométrico.

En la actualidad se cuenta con aparatos tan perfeccionados y tan modernos que se pueden obtener los datos anteriores de una manera muy precisa y fácil. Estos aparatos no necesitan una operación diaria, sino que trabajan automáticamente, obteniéndose todos los datos en el registro de la memoria interna de dicho aparato o en un disco o cinta de grabación.

Dichas estaciones cuentan con anemómetro, polarímetro y la unidad de grabación de datos, así como sensores especiales que nos dan automáticamente los datos procesados respecto a temperatura, humedad, temperatura del viento, lluvia, radiación solar, dirección y velocidad del viento, presión barométrica, humedad del bulbo de depresión mojado, conductividad y algunos otros datos más; pudiéndose acondicionar datos de temperatura del agua, nivel del agua, sólidos en suspensión oxígeno disuelto, PH, etc., datos que se necesitarían si la estación se encuentra cercana a un río, pozo o laguna.

Únicamente, después de instalada la estación meteorológica automática, se preverán las precauciones para que dicha instalación quede protegida en su perímetro.



Fig. 3.1 Estación meteorológica.

### Clasificación de los estudios meteorológicos.

#### 3.1 Vientos.

La razón por la cual es de gran importancia un estudio completo de vientos, se debe a que los vientos son los que originan principalmente el oleaje, de ellos depende la orientación de las dársenas, la localización, orientación y diseño de las estructuras portuarias.

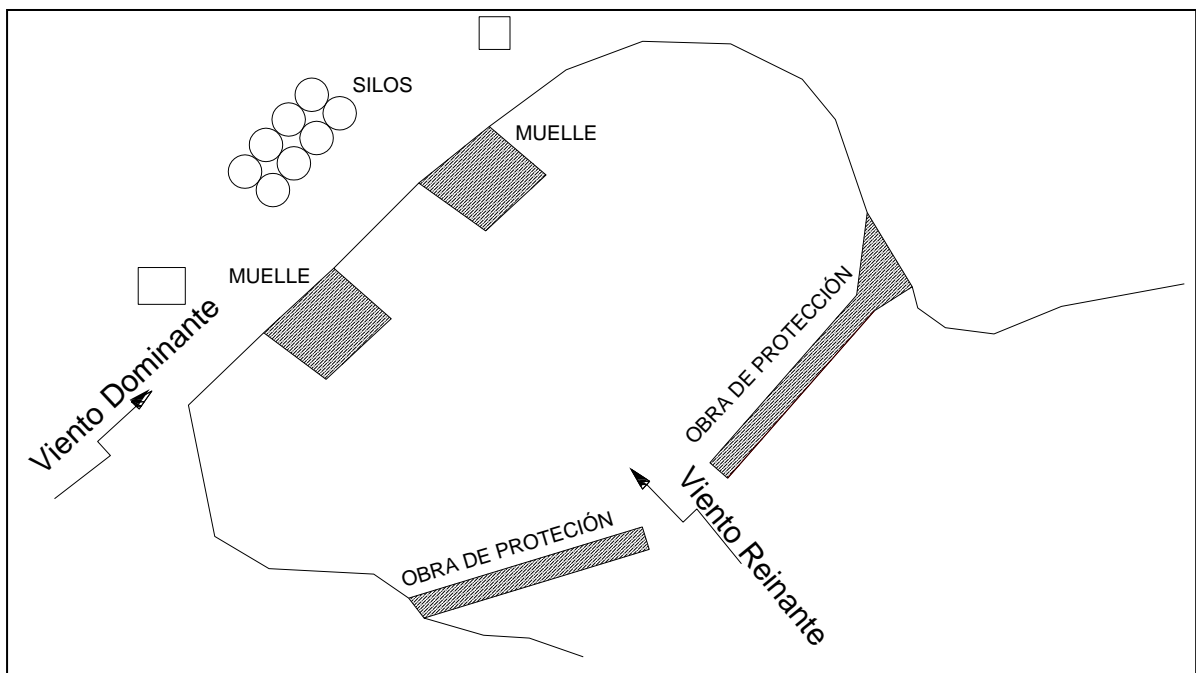


Fig. 3.2 Orientación de las dársenas y estructuras portuarias en función del viento.

Para el estudio de los vientos se hace un análisis dando mayor importancia a los vientos locales, ya que éstos serán los que definan las características de la región estudiada, además que se debe aprovechar al máximo los histogramas de la localidad, si es que existieran.



De igual manera se estudiarán los vientos oceánicos, ya que teniendo conocimiento de su comportamiento, se puede predecir en cierta forma el oleaje distante que lógicamente afectará al oleaje local.

Se le denomina viento a una masa de aire en movimiento, en virtud de un desequilibrio de la atmósfera, debido a una causa cualquiera.

Dichas causas son principalmente las diferencias de presión atmosférica, las desigualdades de temperatura entre un lugar y otro, la humedad relativa también es un factor.

Las principales características del viento que nos interesan estudiar son *la dirección y la intensidad o velocidad*.

A la dirección en que sopla el viento con mayor frecuencia se le denomina **viento reinante**.

A la dirección que sopla el viento con mayor intensidad o velocidad se le denomina **viento dominante**.

Con los datos que se anotan en el registro se puede formar con esta información un Diagrama de Lenz, que de una manera gráfica muestra la orientación de las dársenas en el puerto.

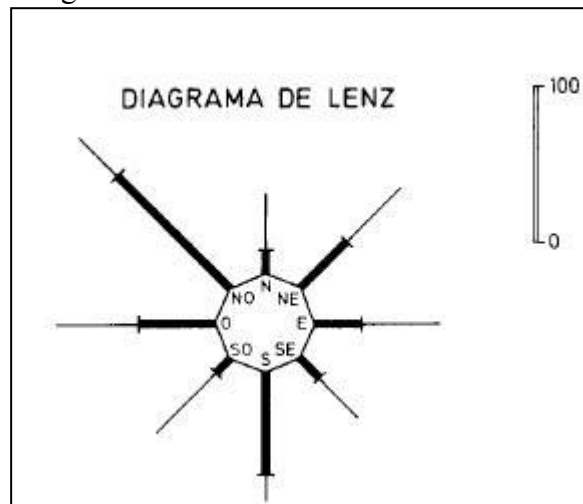


Fig. 3.3 Diagrama de Lenz.

Los vientos locales y oceánicos, pueden ser a su vez permanentes, periódicos y accidentales.

Los vientos denominados periódicos nos interesa conocer los locales principalmente, ya que estos a su vez se subdividen en virazones y los terrales. Siendo los virazones los que circulan de día del mar a tierra, y los terrales los que circulan de noche de tierra al mar.

De igual manera los vientos denominados accidentales son de interés, ya que con los histogramas se sabrá con que frecuencia se han presentado en la localidad los ciclones, tifones,

anticiclones, etcétera; vientos que tienen gran relevancia puesto que pueden tener un período definido de ejercer acción en la zona.

Para determinar el estado del mar en base a la velocidad del viento, se utilizan escalas como la de Beaufort, que recibe el nombre del almirante Francis Beaufort que desarrolló esta escala en 1805, la cual se muestra en la siguiente tabla.

Escala Beaufort	Descripción marinera de la velocidad en nudos	Velocidad (nudos)	Estimación de la fuerza del viento sobre el mar	Escala internacional de descripción del estado del mar y altura de olas
0	Calma	<1	La mar está como un espejo	Calma o llana 0 pies
1	Ventolina	1-3	Rizos sin espuma	
2	Flojito (Brisa muy débil)	4-6	Olas pequeñas que no llegan a romper	Marejadilla 0-1 pies
3	Flojo (Brisa débil)	7-10	Olas algo mayores cuyas crestas comienzan a romper. Borreguillos dispersos	Marejada 1-2 pies
4	Bonancible (Brisa moderada)	11-16	Las olas se hacen más largas. Borreguillos numerosos.	Fuerte Marejada 2-4 pies
5	Fresquito (Brisa fresca)	17-21	Olas moderadas alargadas. Gran abundancia de borreguillos, eventualmente algunos rociones	Gruesa 4-8 pies
6	Fresco (Brisa fuerte)	22-27	Comienzan a formarse olas grandes. Las crestas de espuma blanca se extienden por todas partes. Aumentan los rociones.	Muy Gruesa 8-13 pies
7	Frescachón (Viento fuerte)	28-33	La mar engruesa. La espuma de las crestas empieza a ser arrastrada por el viento, formando nubecillas.	Montañosa 13-20 pies
8	Temporal (duro)	34-40	Olas de altura media y más alargadas. De las crestas se desprenden algunos rociones en forma de torbellinos. La espuma es arrastrada en nubes blancas. -marked streaks along the direction of the wind.	Montañosa 13-20 pies

## MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO.

Para medir la intensidad del viento se emplean anemómetros, de los cuales existe una variedad de ellos, por ejemplo: el anemómetro Robinsón, el anemómetro de Wild, el de Richard, el anemómetro generado de corriente, entre otros.

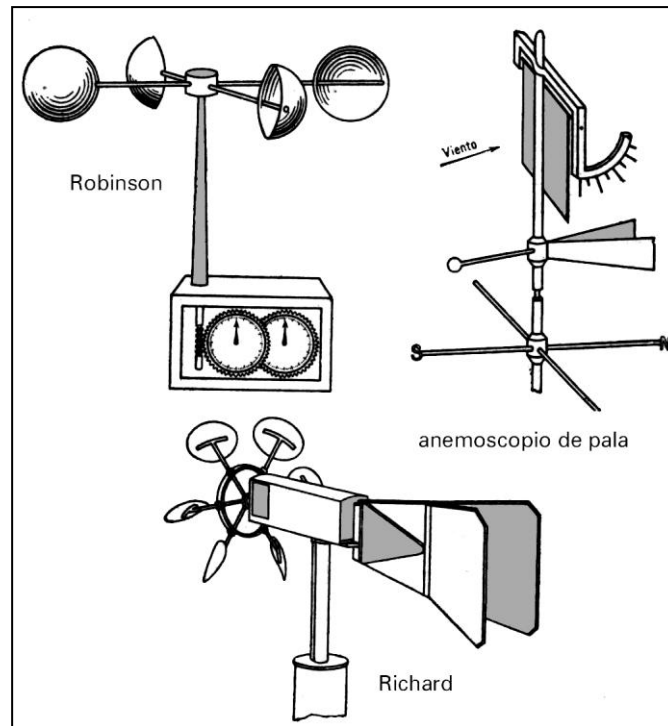


Fig. 3.4 Instrumentos para medir la intensidad del viento.

### COMBINACIÓN DE VELETA Y ANEMÓMETRO.

A la combinación de la veleta y el anemómetro se le denomina Anemocinemógrafo, aparato automático que sirve para registrar la velocidad y dirección del viento constituyéndolo esencialmente, un anemómetro registrador y una veleta registradora, cada vez de tipo más perfeccionado.

### DESCRIPCIÓN GENERAL.

El anemómetro generador está encerrado en una caja de corte aerodinámico, siendo el generador idéntico al anemómetro del tipo estándar. La caja aerodinámica diseñada para que sea fácil darle servicio, está construida de tal modo que se pueda usar también con la veleta, por lo que así se tiene la caja de la veleta ligada a la caja del anemómetro e inclusive las chumaceras intercambiables. En la parte inferior contiene un enchufe metálico para poder montarse en un tubo de pulgada. El mecanismo de contacto de la veleta está instalado en la caja antes mencionada y la cola de la veleta es de forma aerodinámica. Se emplean 8 segmentos de contacto dando de esta manera 16 direcciones de la rosa. El indicador de direcciones y velocidades del viento contiene un medidor de velocidad estándar con la capacidad de indicar millas/hora, Km/hora, m/s y nudos. Una rondana de material plástico rodea a la arandela metálica del indicador que tiene grabadas las 8 direcciones de la rosa. Los 8 focos instalados detrás de la rondana iluminan las direcciones grabadas. Se iluminan 2 círculos simultáneamente para los puntos intermedios. La corriente eléctrica para las luces la proporciona una batería, en caso de que no se tenga energía eléctrica del exterior.

## INSTALACION.

El generador y la veleta deberán montarse en el soporte estándar previendo todas las precauciones. Los conductores se llevan desde los instrumentos hasta las terminales colocadas en la caja de conexiones del mástil. Para hacerse las conexiones en las terminales y en el indicador se usa cable con forro de plomo o de hule.

## PROCEDIMIENTO PARA TOMAR LA LECTURA.

- 1.- Se coloca el conmutador para leer las unidades de velocidad usada.
- 2.- Se enciende el switch para la dirección.
- 3.- Se lee la velocidad del viento directamente en la carátula, determinando el promedio de la posición de la aguja, durante un intervalo de 5 segundos. Cuando la aguja permanece quieta en un punto, pero indica velocidades más altas por instantes, la velocidad reportada será la menor en el que la aguja permanece quieta, reportándose como racha la velocidad más alta.
- 4.- La dirección se lee por los círculos iluminados. Las 8 direcciones de la veleta (Norte, Noreste, Este, Sureste, Sur, Suroeste, Oeste y Noroeste) se indican por el encendido de dos círculos adyacentes simultáneamente.



Fig. 3.5 Anemocinemógrafo.

### 3.2 Temperatura.

La temperatura es la condición que se determina en un flujo de calor dentro de una misma sustancia a otra. Hablando en el sentido meteorológico, si el término no lleva ninguna restricción debe entenderse como la temperatura ambiente del aire.

## TEMPERATURA EN LA ATMÓSFERA.

El estudio de la temperatura del aire tiene gran importancia en meteorología, pues se ha demostrado que la mayor parte de los fenómenos atmosféricos tiene por causa la coexistencia de masas de aire en contacto a diferentes temperaturas.

El calor que recibe la atmósfera procede casi exclusivamente de la energía radiante que emite el sol. El sol calienta la atmósfera de dos maneras; una puede ser por absorción de parte de sus radiaciones principalmente, por la presencia del vapor de agua y el anhídrido carbónico en la atmósfera, la segunda manera es por medio del calentamiento de la corteza terrestre que a su vez calienta por contacto, o por radiación, la capa de aire contiguo.

Durante todo el tiempo que el sol se encuentra sobre el horizonte de un lugar, está calentando la atmósfera y el suelo, los que a su vez irradian calor a los espacios exteriores.

La temperatura de un lugar depende de varios factores, decreciendo generalmente cuando aumenta la latitud geográfica y la altitud sobre el nivel del mar. La mayor inclinación con que llegan los rayos solares explican la influencia de la latitud y esta inclinación junto con la distante duración del día y la noche, explica la diferencia que existe entre las temperaturas de invierno y de verano. El descenso de la temperatura media con la latitud, obedece a que las capas altas reciben menor calor irradiado de la tierra que las bajas; contribuyendo también, a esta distribución de temperatura, la mayor sequedad y enrarecimiento de las capas altas, lo que da lugar a que absorban menos calor de las radiaciones solares y del irradiado por el suelo, y también una irradiación más rápida durante la noche del calor absorbido durante el día.

Como la corteza terrestre tarda un cierto tiempo en calentarse y enfriarse, resulta que las temperaturas máxima y mínima del año no correspondan a los solsticios en que los rayos del sol alcanzan su máximo y mínimo poder calorífico; sino que experimentan un retraso apreciable que hace que el máximo calor de un lugar ocurra después del 21 de junio que es la época en que el sol está más tiempo y más elevado en el horizonte, y que el mayor frío se presenta después del 22 de diciembre que es el día más corto del año y de sol más bajo y oblicuo. Por la misma causa, el máximo y mínimo de temperaturas diurnas se retrasan como valor medio, de las 12 del día y de la noche.

## TERMÓMETROS.

Los termómetros son los instrumentos empleados en la medición de las temperaturas, de los cuales existen diversos tipos. Para las observaciones meteorológicas se suelen instalar dos termómetros, uno de máxima y otro de mínima. En el termómetro de máxima que es el de mercurio, al aumentar la temperatura empuja así un índice, el cual al descender aquella queda fijo en el mayor desplazamiento alcanzado. El termómetro de mínima que es el de alcohol, que al dilatarse pasa entre la pared y el índice sin hacer mover a éste y al contraerse obliga a retroceder por la adherencia del líquido. Ambos termómetros suelen ser horizontales y su principal diferencia estriba en que el alcohol moja el cristal del tubo y el índice, mientras que el mercurio no lo hace.

## DESCRIPCIÓN, INSTALACIÓN Y ORIENTACIÓN.

Los instrumentos que están expuestos a la radiación directa del sol y la radiación indirecta reflejada por las superficies pulidas, absorben calor y las indicaciones que arrojan son incorrectas. Para ello se han diseñado albergues especiales, permitiendo tener el aire libre de los instrumentos y evitándose que estén expuestos a lo anterior. Estos albergues son casetas que generalmente se construyen de madera, las cuales permiten mediante orificios la libre circulación de aire dentro de ellas. Su techo se construye doble con un espacio entre planos impidiendo que el interior de la caseta reciba directamente el calor exterior. Su color es perfectamente blanco, interior y exterior, impidiendo la absorción. Se debe instalar a la intemperie y retirada de paredes u otros objetos, procurando que el aire circule libremente, a una altura de 1.20 metros del suelo.

La puerta de la caseta deberá estar orientada, a manera de que no reciba en ningún momento los rayos directos del sol en el interior. Su orientación será al Norte en el hemisferio Norte y al Sur en el hemisferio Sur.

En las estaciones que se hagan observaciones nocturnas es conveniente tener una instalación eléctrica subterránea, llevándola hasta el interior de la caseta para alimentar una lámpara de poca potencia que se instalará en la parte superior arriba del psicrómetro.



**Fig. 3.6 Termómetro de máxima y de mínima.**

## LECTURA.

Para realizar la lectura, bastará con hacer una observación de las indicaciones del termómetro en donde la pared inferior de los mismos indican, tanto la temperatura máxima, como la mínima. La columna de mercurio marca en ambas escalas la temperatura ambiente.

Una vez anotadas las temperaturas, se llevan los indicadores hasta hacerlas tapar con la columna de mercurio, para lograrlo se hace uso de un pequeño imán que se guarda en la parte superior del termómetro.

Las escalas termométricas más usadas son: la Escala Centígrada ( $0^{\circ}$  para el hielo fundente y  $100^{\circ}$  para la ebullición del agua al nivel del mar) y la Escala Fahrenheit ( $32^{\circ}$  y  $212^{\circ}$  para los mismos límites).

Se puede pasar de una a otra mediante las siguientes fórmulas:

$$F = 32 + \frac{(212-32)}{100} C = 32 + 1.8 C$$

$$C = \frac{(F - 32)}{1.8} = 0.56 F - 17.78$$

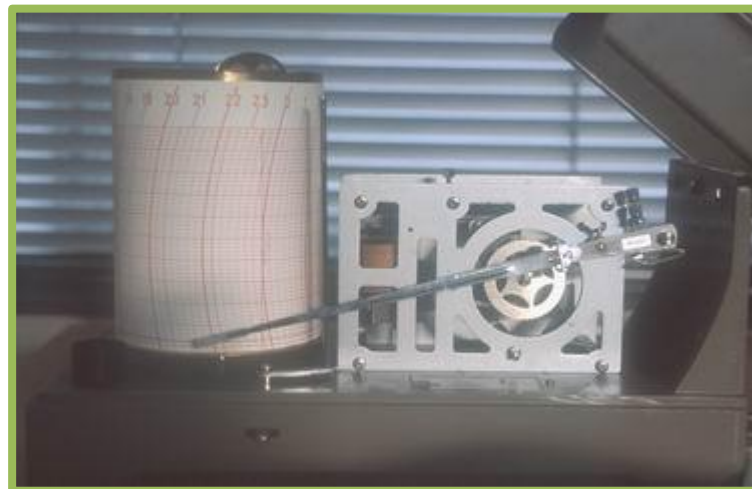
### 3.3 *Precipitación pluvial.*

Es de gran importancia determinar la cantidad de agua llovida en las cuencas de los ríos. que por su magnitud, sirven de albergue a puertas interiores construidas en las desembocaduras y márgenes de dichos ríos. Ya que con estos datos se puede definir de una manera precisa el cálculo y proyecto de las obras portuarias, evitando los deterioros y destrucciones de los puertos, esto en el caso de puertas interiores. Cuando se tienen puertas sin ningún río cerca, de cualquier manera influye directamente la precipitación, ya que se cuenta con grandes áreas de muelles y zonas de bodegas, lo cuales se inundaría y provocaría trastornos de diferentes índoles, si no se proyecta el desagüe adecuado para tanta área expuesta a dichas precipitaciones.

## PLUVIÓMETRO.

Es el instrumento que nos sirve para medir los volúmenes de agua precipitada, encontrándose instalados en las estaciones meteorológicas. Se constituye fundamentalmente de un embudo colector por donde penetra el agua de lluvia y un conductor inferior que conduce el agua hasta el fondo del instrumento.

Adicionado al embudo se encuentra un tubo de vidrio con un área 10 veces menor que la del embudo; éste tubo viene graduado en milímetros y centímetros, ranurado en su parte inferior para permitir la entrada del agua al interior, con lo que resulta fácil tomar la lectura del agua precipitada en la graduación del mismo.



**Fig. 3.7** Pluviómetro y pluviógrafo.

#### LECTURA.

Lo único que hace la persona encargada de las lecturas es observar el nivel del agua en el interior del tubo y leer en la escala graduada del mismo. Como el área del tubo es 10 veces menor que la del embudo, dicha lectura se tendrá que dividir entre 10 y éste resultado se reportará como la altura de precipitación pluvial en milímetros ocurrida durante las 24 horas del día.

Dicho valor se anota en el registro y se vacía el pluviómetro, colocándose nuevamente en su lugar, quedando así listo para un nuevo registro.



### 3.4 Presión atmosférica.

La presión atmosférica es la fuerza por unidad de superficie ejercida por la atmósfera sobre un nivel dado.

#### BARÓMETRO.

Es el instrumento que sirve para medir la presión atmosférica, teniéndose dos tipos principales de ellos.

- a) Barómetros Aneroides.
- b) Barómetros de Mercurio.

#### a) Barómetros Aneroides.

Se indican en este tipo de barómetros las variaciones de la presión atmosférica por la deformación, que, bajo su acción, experimenta un recipiente metálico de paredes elásticas o un tubo manométrico, en cuyo interior se ha hecho el vacío. En esta clase de barómetros podemos hacer mención de:

#### Barómetro de Vidi.

El órgano sensible del barómetro es una o varias cajas metálicas circulares, apiladas en cuyo interior se ha hecho el vacío, y sus paredes están acanaladas para aumentar la superficie de deformabilidad. Cuando la presión varía, las paredes de las cajas se aproximan más o menos haciendo variar la altura de la pila, ampliándose estas variaciones por un sistema de palancas o engranajes distintos, según su construcción.

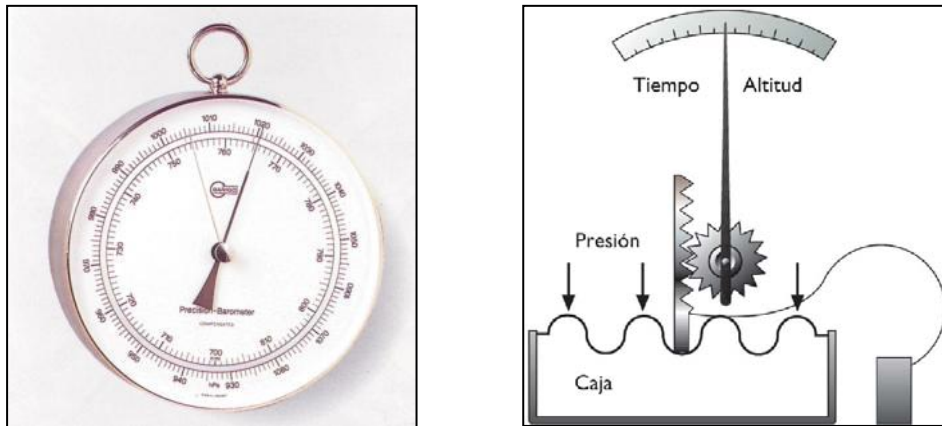


Fig. 3.8 Barómetro de Vidi.

#### Barómetro Bourdon.

El órgano sensible en éste tipo de barómetro es un tubo metálico cerrado por sus extremidades, doblado en forma de anillo y sujetado por el centro. Al variar la presión se abre o cierra el anillo, cuyos movimientos se transmiten mediante un sistema de palancas y piñones a una

aguja que recorre una escala graduada. La sección del tubo es elíptica con el eje mayor de la elipse normal al plano del anillo.

b) Barómetros de Mercurio.

Este tipo de barómetros trabajan basados en el principio de que la fuerza ejercida por el peso de una columna de aire atmosférico equilibra el peso de la columna por un líquido. En la práctica el líquido usado es el mercurio cuyo peso es aproximadamente de 13.6 veces más que el agua. La presión atmosférica equilibra una columna de 76 centímetros de mercurio, en un barómetro de mercurio común y corriente. Los barómetros de mercurio son fundamentalmente instrumentos precisos, y, lo cuidadoso de su construcción y la técnica para leerlos, permiten que se empleen comúnmente.

### 3.5 *Humedad ambiente.*

La humedad ambiente es una medida del contenido de vapor de agua en el aire libre. Para expresar el contenido de humedad ambiente del aire atmosférico existen diferentes formas según sea el criterio que se emplee, para evaluarla. Las más comunes son *humedad absoluta*, *humedad relativa*, *humedad específica*, *depresión del bulbo húmedo* y *temperatura del punto de rocío*.

#### *Humedad Absoluta.*

Es el peso del vapor de agua contenido en un metro cúbico de aire.

#### *Humedad Relativa.*

Es la relación entre el contenido actual de vapor de agua del aire y el contenido máximo posible de vapor de agua del aire a la misma temperatura. Se expresa en “%” y su valor es variable, estando afectado por la temperatura del aire. Se puede expresar también como el cociente entre la humedad específica y la humedad específica de saturación.

#### *Humedad Específica.*

Es la cantidad de vapor de agua contenida en un kilogramo de aire.

#### *Depresión del bulbo Húmedo.*

Es la diferencia entre la lectura del termómetro del bulbo húmedo de un psicrómetro y la lectura del termómetro del bulbo seco. Entre más grande sea el valor numérico de esta diferencia, menos será el contenido de humedad del aire y viceversa.

#### *Temperatura del Punto de Rocío.*

Es la temperatura a la cual debe ser enfriado el bolbo antes de que ocurra la saturación, siempre que el enfriamiento sea a presión constante. De las diferentes formas de expresar la humedad, la más usada en las observaciones del tiempo de la superficie, son la humedad relativa y la temperatura del punto de rocío. Como la humedad relativa varía con la temperatura, a menudo es más conveniente emplear el enfriamiento total que se necesita para producir la saturación, y este enfriamiento lo indica la diferencia numérica entre la temperatura del bulbo seco, o sea la temperatura ambiente y la temperatura del punto de rocío.

## PSICRÓMETRO.

Es el instrumento empleado para medir el contenido del vapor de agua del aire libre en el lugar donde están instalados los instrumentos.

### DESCRIPCIÓN.

En cualquier proceso de evaporación, para transformar un líquido en vapor se necesita utilizar una determinada cantidad de calor (calor latente de vaporización) por lo que los objetos en donde se evapora el líquido, se enfrían por la pérdida de calor.

La velocidad con la que la evaporación del agua se difunde en el aire libre, depende directamente de la cantidad de vapor de agua que existe con anterioridad en el aire, es decir, que la evaporación se efectúa lentamente cuando el aire contiene una cantidad de vapor de agua relativamente pequeña para su temperatura. En el primer caso el aire se considera húmedo y en el segundo seco.

Estos dos principios se utilizan en el psicrómetro ordinario de bulbo húmedo, es el que está compuesto de dos termómetros de mercurio. Uno de ellos, el llamado bulbo seco indica la temperatura del aire ambiente, y el otro llamado bulbo húmedo se pone en contacto con agua por medio de un capuchón de muselina que cubre totalmente al bulbo; cuando se toma una lectura, éste capuchón se moja perfectamente con agua, y cuando se hace circular el aire atmosférico alrededor del capuchón se enfría el bulbo húmedo, para la evaporación del agua o indica una temperatura más baja que la del aire ambiente, dependiendo ésta temperatura de la velocidad de evaporación.

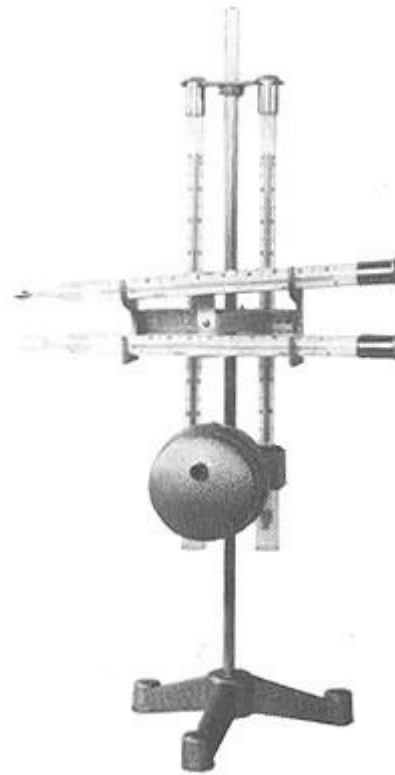


Fig. 3.9 Psicrómetro.

### INSTALACIÓN.

Los termómetros anteriormente mencionados están montados sobre una placa de metal, y ésta se suspende de un clavo, el cual se fija sobre la tabla de madera colocada en el interior de la caseta para el psicrómetro. Para que el aire circule alrededor del bulbo húmedo, la caseta está provista de un ventilador, cuyas aspas están colocadas paralelamente al bulbo húmedo.

# **ESTUDIOS OCEANOGRÁFICOS**

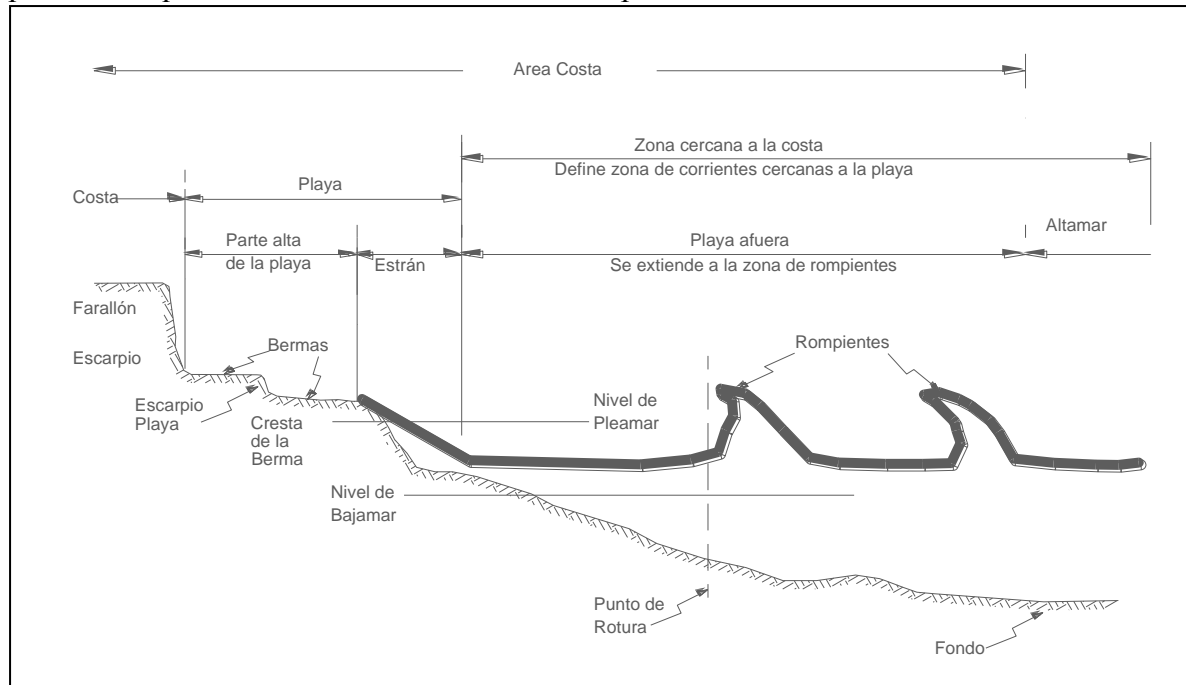
## **CAPITULO IV**

## 4. Estudios Oceanográficos.

Los estudios oceanográficos, efectuados dentro de la Ingeniería de Costas, son de suma importancia debido a que de ellos dependen directamente diversos factores, considerados de primaria importancia en el diseño de las obras portuarias.

Los fenómenos oceanográficos tales como; mareas, oleaje, corrientes y transporte de litoral, producen efectos que son sumamente importantes y básicos para cualquier tipo de obra que se pretenda construir; ya que, sin contar con un estudio de estos efectos, no se puede diseñar ni proyectar adecuadamente un recinto portuario, puesto que dicha obra presentaría problemas de funcionamiento, pues el verdadero comportamiento del mar en localidad sería muy diferente al considerado sin haber efectuado tales estudios.

Entre los estudios oceanográficos tenemos: medición de mareas, estudio de corrientes, estudio del oleaje, transporte litoral. A continuación se explica la manera de efectuar las mediciones y operaciones que se deben llevar a cabo en el campo.



**Fig. 4.1 Descripción gráfica de los términos utilizados en la costa.**

### 4.1 Medición de mareas.

Se le llama marea a la variación periódica de nivel que sufre el océano provocada por la atracción gravitacional del sol y la luna, siendo ésta última la más importante.

Las fuerzas principales que actúan en la generación de las mareas son además de las de atracción, la fuerza centrífuga, la fuerza de Coriolis y las fuerzas de fricción generadas por el movimiento del agua en las fronteras por donde ella se mueve.

La medición de mareas es de suma importancia ya que con las alturas de mareas registradas podremos estar en condiciones de diseñar apropiadamente nuestras instalaciones portuarias, ya sean muelles o rompeolas u otro tipo de estructura.

En función de las mareas se tiene una variación de las entradas y salidas de agua a lagunas costeras y a los fenómenos de corrientes que en las lagunas y ríos se suscitan.

#### TIPOS DE MAREAS.

##### *Mareas vivas.*

La marea viva marca los puntos más alto y más bajo de marea, se presentan y ocurren cuando la tierra, la luna y sol se encuentran en las siguientes posiciones: cuando la tierra y la luna se encuentran en la parte intermedia pero en línea recta.

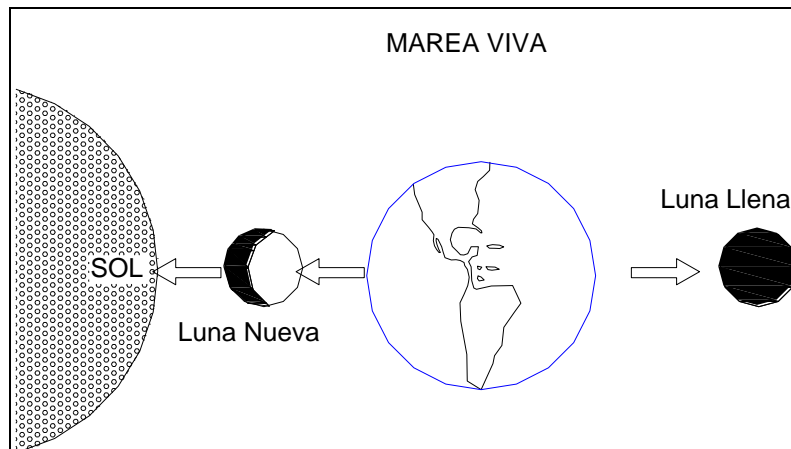


Fig. 4.2 Marea viva.

##### *Mareas muertas.*

La marea muerta es lo contrario a la marea viva, la amplitud entre la pleamar y la bajamar es la menor, se registran y ocurren cuando la tierra, la luna y el sol se encuentran en la siguiente forma: la tierra se encuentra en el centro, mas no formando línea recta, sino casi llegando a formar un ángulo recto.

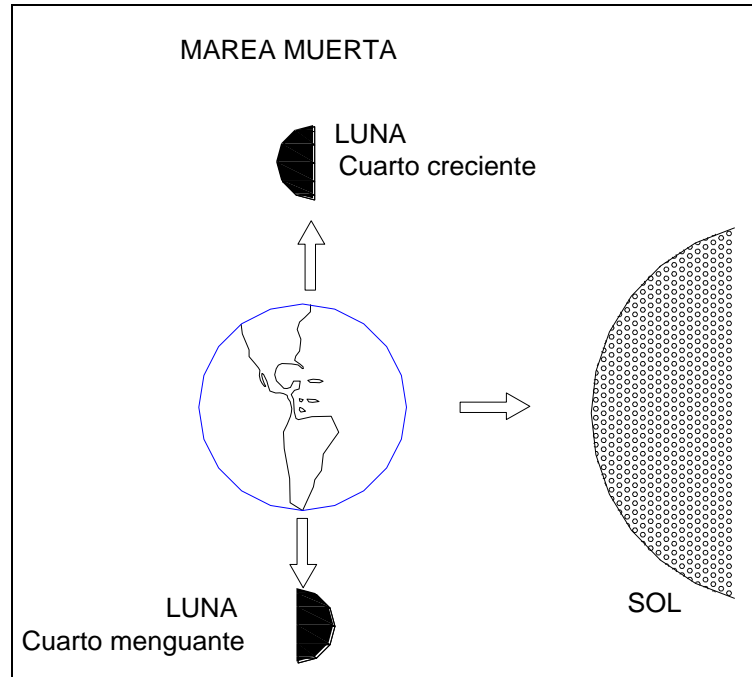


Fig. 4.3 Marea muerta.

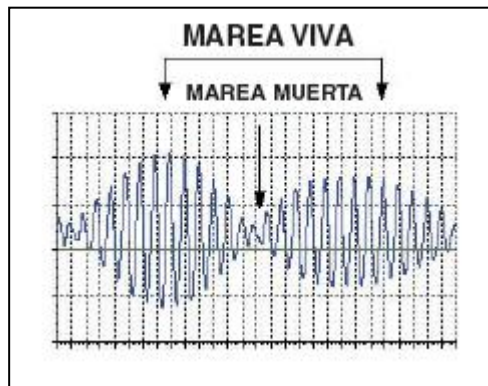


Fig. 4.4 Gráfica de marea viva y marea muerta.



## CURVAS TÍPICAS DE MAREAS.

Mareas diurnas con 24 horas de período.

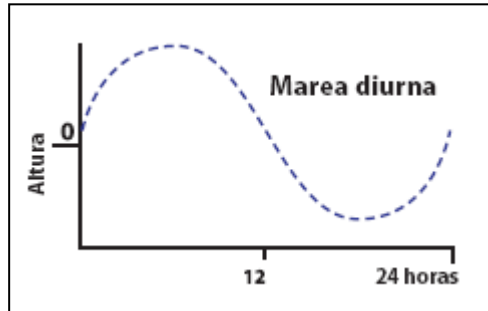


Fig. 4.5 Marea diurna.

Marea semidiurna con período de 12 horas.

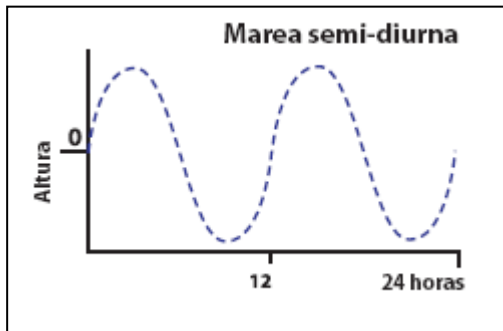


Fig. 4.6 Marea semi-diurna.

Mareas mixtas que tienen diferentes períodos y características dependiendo de la localidad.

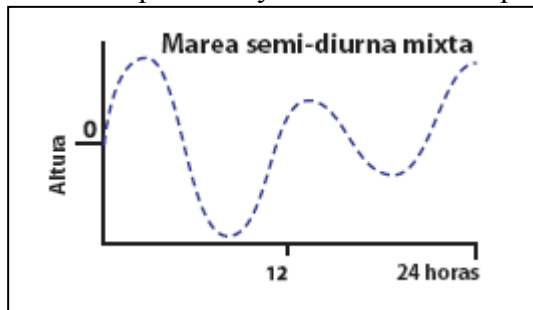


Fig. 4.7 Marea semi-diurna mixta.

Hay generalmente dos pleamares y dos bajamares en un día lunar o de marea.

El día lunar es aproximadamente 50 minutos en promedio más largo que el día solar, debido a esto las mareas se realizan con un promedio de 50 minutos más tarde cada día. Debido a los efectos de variación del sol y de la luna, una desigualdad diurna en las mareas se presenta, la cual, en ciertos lugares puede ser reducida, si llega a existir; siendo esta diferencia la variación

que existe en altura entre un pleamar y un bajamar, sucesivos, con respecto a la anterior o la siguiente.

A lo largo de la costa del Océano Atlántico, las dos mareas que se presentan en cada día son aproximadamente de la misma altura.

En la costa del Golfo las mareas son reducidas, pero en algunos casos tienen una gran desigualdad diurna.

Las mareas del Océano Pacífico son comparables en altura con las que se presentan en la costa del Atlántico pero tienen una desigualdad muy marcada.

## APARATOS PARA MEDIR LAS MAREAS.

### *Mareómetros.*

Son los aparatos del tipo más común, dado que no cuentan con ningún mecanismo de registro automático de las alturas de mareas.



**Fig. 4.8 Instalación de mareómetros.**

Este dispositivo consiste únicamente en una escala graduada, hecha en base a una tabla o tablón, procurando que sea de buena calidad, para que no sufra deformaciones por el efecto del agua y de la sal, y que permita que se aprecien las graduaciones y numeraciones de la misma a manera de que se pueda hacer fácilmente las lecturas. Se procura colocar dicha regla sobre un lugar seguro por ejemplo, el pilote de algún muelle, o algún macizo rocoso, etcétera, no teniendo en la localidad alguno de estos factores, se tendrá que construir una pequeña torre de presencia metálica a base de ángulos, o ya en el último de los casos de madera lo suficientemente capaz de resistir posibles oleajes de tormenta. La longitud de esta regla dependerá directamente de la variación máxima que la marea pueda tener en la zona de estudio. En lugares en donde el agua de mar, temporal o permanentemente aparece turbulenta, se recomienda instalar un tubo de 20 centímetros de diámetro de vidrio fijado frente a la escala con cualquier dispositivo que sea seguro, y que nos permita seguir haciendo las lecturas, así el nivel del agua dentro del tubo corresponderá al nivel de la marea.

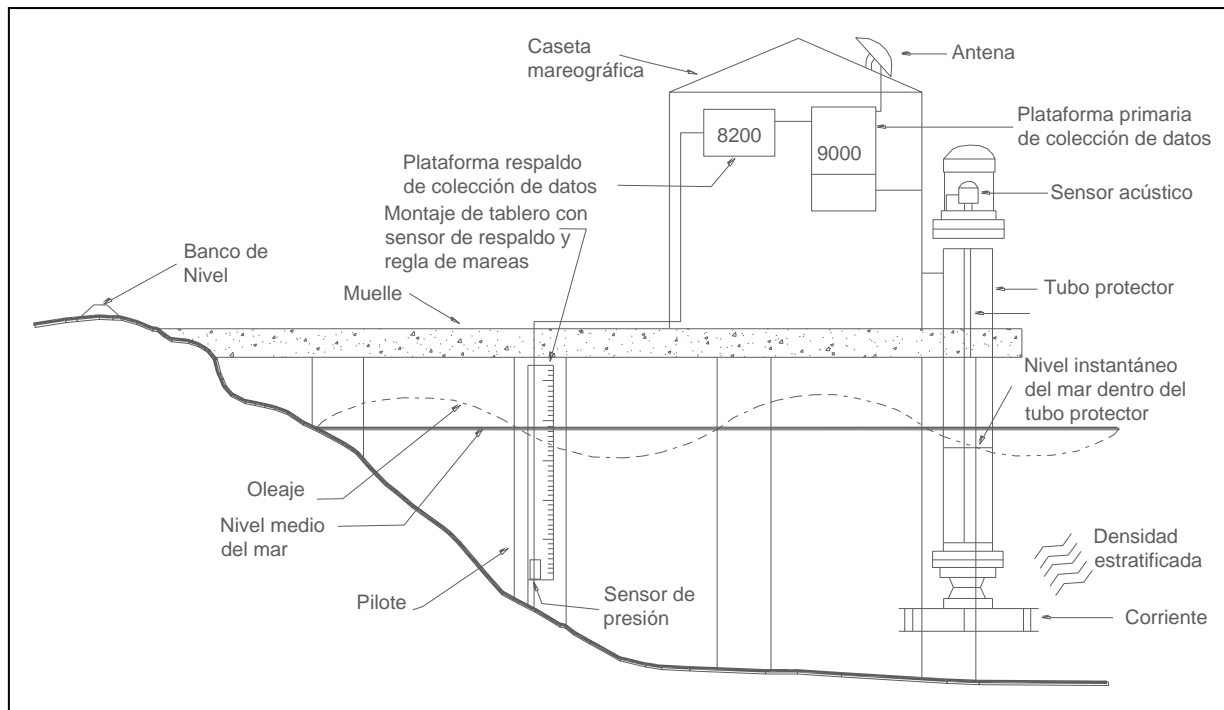
Se recomienda utilizar en todos los casos una escala removible, debido a que con el tiempo y la estancia de dicha regla dentro del mar, se mancha, se va borrando la numeración, se adhieren moluscos, etcétera y se hace imposible la lectura, de esta manera teniendo una escala removible, es decir, que se sujete a un tablón, por ejemplo, o directamente sobre algún pilote de madera, a base de tornillos o algo similar, permitiendo hacer un cambio de regla periódicamente, o hacerle un servicio de restauración de la misma, en caso de no contar con otra.

En los lugares en donde las diferencias de altura de nivel de pleamar y bajamar son muy grandes se recomienda establecer una sucesión de escalas para poder leer dichos valores, dispuestas de tal manera que los índices de referencia de una con respecto a la siguiente estén ajustados mediante una nivelación para que así queden todas referidas a un cero común.

### ***Mareógrafos.***

Estos aparatos registran mediante un mecanismo automático los diferentes niveles del agua y en forma constante, durante las diferentes fases de la marea.

Los mareógrafos pueden ser de tipo normal o portátil. Los de tipo normal son los que se emplean en estaciones mareográficas primarias y durante un tiempo indefinido, los de tipo portátil son los que se emplean en estaciones secundarias o temporales, donde desempeñan un papel eficaz, ya que generalmente se emplean para tiempos menores a un año; en estas estaciones temporales, únicamente se trata de determinar las variaciones de mareas que en forma local se presentan en determinado lugar y al mismo tiempo obtener los niveles de referencia para la reducción de profundidades obtenidas durante el sondeo batimétrico.



**Fig. 4.9** Esquema de una caseta mareográfica.

Se puede decir que en general los mareógrafos o limnógrafos constan de las siguientes partes:

Cilindro registrador.

Tornillo del trazador.

Trazador.

Tambor del flotador.

Tren del engranaje.

Alambre del flotador.

Flotador.

Tubo del flotador.

Pozo del flotador.

#### *Cilindro registrador.*

Sobre éste cilindro se va enrollando el papel sobre el cual se va registrando la gráfica que representa la variación de la marea. Dicho cilindro es accionado por un mecanismo de relojería, el cual le imprime un movimiento rotacional de velocidad uniforme, sobre un eje central, con lo que se logra fijar la escala de tiempos en la hoja de registros.

#### *Tornillo del trazador.*

Es un tornillo sin fin que adquiere el movimiento que le proporciona el ascenso y descenso de la marca; todo esto ligado por medio de un tren de engranaje que lo conecta con el tambor del flotador, imprimiendo al mismo tiempo al carro del trazador el movimiento conveniente para escribir la gráfica de la marea de acuerdo con la escala de distancias prefijada.

#### *Trazador.*

Este elemento realiza la inscripción de la gráfica sobre el papel del cilindro registrador, que bien puede ser un lápiz, una plumilla, etcétera, dependiendo del tipo de papel empleado en los diferentes mareógrafos.

#### *Tambor del flotador.*

Esencialmente sirve para que en el se enrolle el alambre del flotador, teniéndose además una muelle compensadora que equilibra el peso del flotador y compensa el alambre del mismo a medida que sube la marea.

#### *Tren de engranaje.*

Se escoge una escala adecuada que vaya de acuerdo con la amplitud de marea en la localidad de estudio, para que el tambor del alambre del flotador accione el tornillo sin fin del trazador, a través de un sistema de engranes intercambiables.

#### *Alambre del flotador.*

Este alambre generalmente es de bronce fosforado o de alguna aleación de níquel y cromo, dependiendo del calibre del peso del flotador, el cual viene especificado en cada modelo de mareógrafo.

#### *Flotador.*

Está hecho generalmente de un cilindro hueco de latón el cual se lastra, procurando que salga de la superficie del agua una quinta parte de su longitud, en donde dicha longitud y diámetro vienen igualmente especificados en cada modelo de mareógrafo.

#### *Tubo del flotador.*

Todos los mareógrafos vienen con un tramo de tubo, el cual uno de sus extremos está acondicionado para escaparse en la base del mareógrafo fijándose por medio de dos ganchos. El otro extremo del tubo tiene una rosca y sirve para acoplarse con otro tubo, que se hace siempre necesario dependiendo de la profundidad del pozo.

#### *Pozo del flotador.*

Consiste en un tubo vertical con una abertura en la parte inferior para que penetre el agua y según sea la variación de la marea, haga subir y bajar el flotador que se encuentra adentro y que es el que acciona el limnógrafo de tal manera que en dicho pozo se amortigua el movimiento producido por el oleaje. Este pozo se construye a base de secciones de fierro, dependiendo su diámetro de las dimensiones del flotador que se alberga dentro de él.

### LOCALIZACIÓN DE LOS MAREÓGRAFOS

Su localización está en función directa con la zona en estudio y el tipo de datos que se desea obtener. Se deberá escoger un lugar con suficiente fondo, a manera que se pueda registrar bien el nivel mínimo de bajamar. Se elegirá un lugar donde no existan obstáculos y que el agua circule libremente y entre fácilmente al pozo del flotador.

### INSTALACIÓN.

Para que la curva del mareógrafo quede al centro del papel del registro, se procede así: el mareógrafo registrado debe estar en concordancia con la lectura de la regla de marea, por lo cual al fijar dicha regla, es necesario que la graduación correspondiente se sitúe aproximadamente en el nivel medio de la máxima variación de marea. Esta referencia se hace coincidir a la mitad de la escala de alturas de papel de registro, con lo cual se logra que la curva se dibuje al centro del papel.

### ACONDICIONAMIENTO.

Para que funcione normalmente el pozo del flotador, es necesario que la base del mareógrafo esté constituida de tal manera que permita, que con facilidad, se conecte la parte superior del pozo del flotador.

Al mismo tiempo los tubos, o secciones del pozo, deben fijarse firmemente a un pilote que se hincan en el fondo, con el objeto de asegurar su estabilidad; y sólo en aquellos lugares en que por efecto del viento y del oleaje no sea suficiente un solo pilote para la sustentación del pozo, se construirá entonces un trípode de pilotes hincados en el fondo al cual se sujetará de la manera más conveniente el pozo del flotador.

### CONEXIÓN DEL FLOTADOR.

Ya colocado el pozo del flotador, se procede a depositar en su interior, el flotador del mareógrafo, el cual se unirá por medio del alambre ya descrito, calculando su longitud mediante la siguiente fórmula:

$$L = A + B + 50$$

Donde:

L = Longitud total en centímetros.

A = Altura entre el tambor del flotador y la superficie del agua, en centímetros.

B = Altura aproximada de la marea sobre el nivel medio del mar.

Una vez determinada la longitud del alambre; se toma un tramo suficiente del mismo, se ata un extremo al flotador y se hace descender por el pozo, hasta que ocupe su posición natural de inmersión dentro del agua, recortándose el alambre a la medida ya calculada. Este extremo cortado se pasa a través de su guía y por el orificio que tiene la base del mareógrafo o limnigrafo, se fija el tambor del flotador, a cuya muelle tensora se le da cuerda de antemano, haciendo girar en sentido conveniente el tambor, para que el alambre quede bien enrollado en el mismo. Una vez efectuado lo anterior, se coloca el mareógrafo en su posición natural, sobre el tubo del flotador, asegurándolo por medio de grapas de amarre.

#### TREN DE ENGRANAJE, CILINDRO REGISTRADOR Y TRAZADOR.

El tren de engranaje es intercambiable con el fin de establecer la escala más conveniente de altura en el papel registrador, para lo cual se hace necesario determinar la amplitud aproximada de la máxima variación de la marea. Habiendo obtenido este dato, se instalan los engranajes necesarios para obtener la escala que se desee, procediendo después a montar el cilindro registrador y ajustándose el trazador del mareógrafo, quedando de esta manera el aparato en condiciones de operación.

#### MARCAS DE NIVELACIÓN DE COTAS FIJAS.

Una parte esencial de la estación mareográfica consiste en el acondicionamiento de un sistema de marcas de nivelación, que se pueden tomar de referencia al finalizar los registros de las observaciones de marea. A las marcas de nivelación que se establece en los lugares cercanos a la estación mareográfica se les denomina "*marcas de nivelación de mareas*" y sirven de referencia para llevar el control vertical, asegurándose que quede garantizada su estabilidad y que resulten de fácil identificación. Cuando se tiene algún estudio que servirá de base para algún proyecto es muy conveniente fijar dichas mareas en mojoneras de concreto, procurando que queden ubicadas conservando las condiciones anteriormente mencionadas, teniendo que en cuenta que es conveniente determinar por lo menos dos marcas, haciéndose para cada una de ellas una descripción completa de localización, fecha y hora de nivelación y cota obtenida, especificando la fase de la marea en que fue tomada.

Por último se hace la liga del cero del mareómetro de vara de la estación., con las marcas citadas, haciéndose para ello una o varias nivelaciones diferenciales de precisión.

## 4.2 Corrientes.

El estudio de las corrientes, que se presentan en la zona de estudio, es de suma importancia debido a que, con este estudio se puede determinar las zonas que pueden estar en constante erosión y que con el tiempo podrían desaparecer, inclusive las zonas en donde se pueda tener una acumulación de azolve debido al transporte de litoral. También se pueden conocer las mejores zonas de playas turísticas, localización de algún muelle o cualquier otra estructura portuaria; además, de los posibles lugares de dragado en la zonas de estudio.

Debido a las causas que originan las corrientes marítimas se pueden clasificar de la siguiente manera:

### *CORRIENTES POR MAREA.*

#### *CORRIENTES DEBIDAS AL OLEAJE.*

- Litorales.
- Diente de Sierra.
- De Expansión.
- De Retorno.

#### *CORRIENTES POR DENSIDAD.*

- Temperatura
- Salinidad.

#### *CORRIENTES DEBIDAS AL OLEAJE.*

*Corrientes Litorales.* Este tipo de corrientes se debe a la fuerza de desplazamiento de la componente paralela a la costa, en la zona de rompientes del oleaje.

*Corrientes Diente de Sierra.* Son producidas por el avance y el retroceso del oleaje, en donde la componente de avance se desarrolla en la misma dirección del oleaje, mientras que la del retroceso lo hace siguiendo la línea de máxima pendiente de la playa.

*Corrientes De Expansión.* Son producto únicamente del gradiente originado durante la expansión lateral del oleaje.

*Corrientes De Retorno.* Son producidas por la concentración de vectores de energía del oleaje en la zona de estrán. Se difieren de las corrientes diente de sierra por su intensidad, ya que éstas cruzan la línea de rompientes y llegan en ocasiones a formar cañones submarinos.

*CORRIENTES POR DENSIDAD.*

*Corrientes por Temperatura.* Se deben a efectos de diferencias de temperaturas que existe entre las distintas capas del agua y su importancia es mínima cuando su generación es local.

*Corrientes por Salinidad.* Cuando existe una gran diferencia de concentración salina en diferentes zonas del mar, se produce un gradiente, que provoca este tipo de corrientes, las cuales son muy notables en las desembocaduras de los ríos.

## EFECTOS DE LAS CORRIENTES.

*CORRIENTES POR MAREA.* Se producen principalmente en los lugares en que el mar a través del prisma de mareas tiene entrada a una bahía, estero o río por medio de un canal muy estrecho, con respecto al área total de expansión.

*CORRIENTES LITORALES.* Su importancia reside en el transporte de material que la rompiente pone en movimiento dando lugar, al perder intensidad, a la formación de bajos y depósitos.

*CORRIENTES DIENTE DE SIERRA.* Por medio de este tipo de corriente se determina el régimen de una playa, de ahí su importancia ya que por el efecto de su intensidad y distribución depende la forma y el estado de la playa.

*CORRIENTES DE EXPANSION.* Los efectos producidos por este tipo de corriente, se debe únicamente a causas locales muy relativas.

*CORRIENTES DE RETORNO.* El efecto que estas corrientes producen está en la formación característica que se origina en el fondo, sirviendo al mismo tiempo para localizar puntos nodales en la playa.

*CORRIENTES POR DENSIDAD.* (Temperatura y Salinidad) La importancia principal que tienen es que facilitan la floculación o flotación de ciertos elementos en suspensión, pudiendo originar depósitos de cierta importancia.

## MEDICION DE LA CORRIENTE.

La medición de la corriente puede efectuarse mediante el uso de:

- a) Corrientómetros.
- b) Flotadores.
- c) Corrientógrafos.

a) *Corrientómetro Ott Neyrpic.*

Mediante este aparato se puede obtener la medición de la corriente, tanto de velocidad como de dirección, que a diferencia del corrientógrafo no proporciona un registro de magnitudes,



sino que sólo es un indicador, el cual se introduce en el agua al efectuar una medición, ligado a una embarcación mediante un cable conductor.

Dentro de la embarcación el operador que realiza las mediciones, hace todas las fases necesarias para el buen funcionamiento del aparato y va anotando todos los datos correspondientes.

El corrientómetro consta de dos partes esenciales, las cuales son:

- 1.- Un elemento que se sumerge, formado por un molinete y un dispositivo de medición y dirección.
- 2.- Un elemento a bordo de la embarcación que permite recibir las indicaciones de velocidad y dirección transmitidas para el aparato sumergido y mandarles los impulsos eléctricos.

Los impulsos dados a cada cierre de los contactos, son recibidos por dos indicadores luminosos independientes, los cuales permiten descubrir las rotaciones de la hélice en sentido contrario. El molinete empleado es del tipo usado en los Corrientógrafos.

El dispositivo que queda sumergido y que mide la dirección de la corriente, está constituido por una rueda de engranes de 180 dientes, que lleva dos electroimanes y un contacto eléctrico para proporcionar movimiento a la rueda dentada. Todos estos elementos quedan encerrados dentro de una caja de bronce llena de petróleo.

Los electroimanes reciben impulsos mandados por el elemento del corrientómetro colocado a bordo de la embarcación. El primer electroimán hace girar a la rueda dentada y el segundo la detiene devolviéndola a cero, cuando ya ha girado un ángulo igual al que tiene la dirección de la corriente en la meridiana magnética. El segundo electroimán funciona cuando un contacto que lleva la rueda dentada se cierra en el momento en que pasa frente al polo sur de la brújula, ya que tanto el eje de la rueda como el de la brújula, están en la misma línea.

El mismo electroimán es el que logra detener el movimiento del dispositivo indicador de dirección y del emisor de impulsos que va dentro de la embarcación.

Para obtener la dirección de la corriente se observa un cuadrante de dos en dos grados, el cual gira sincronizadamente con la rueda dentada. Dicho cuadrante debe ser regresado a cero una vez que se haya hecho la lectura, para poder leer nuevamente la fase siguiente.

Cuando se presenta una marejada de cierta importancia es conveniente, para eliminar el error producido por el oleaje que el aparato permanezca suspendido mediante una boya sumergida y un muerto de concreto en el fondo. Por otra parte, debido a que el elemento esencial del Corrientómetro pesa solamente 20 kg resulta de más fácil manejo que el Corrientógrafo.

#### *b) Método de Flotadores.*

Para obtener los datos de las características de la corriente mediante este método, se emplean 6 flotadores complementando cada uno con una pantalla, una brújula, un cronómetro y un tramo de cuerda con una longitud recomendada de 20 metros aproximadamente que servirá para sujetar los flotadores.

Para encontrar el valor de la velocidad de la corriente se procede de la siguiente manera:

- 1.- En el lugar en el que se va a ejecutar la medición se fondea la embarcación y se hace una señal a tierra o se usan radios para tener comunicación directa e instantánea a las personas encargadas de obtener la situación de la embarcación mediante dos aparatos.
- 2.- Se mide la profundidad del lugar empleando una sondaleza.
- 3.- El tramo de cuerda de 20 metros de largo se ata al flotador.
- 4.- Una vez preparado el flotador y atado a la cuerda se suelta en el agua y se mide el tiempo que tarda en tensar la cuerda.
- 5.- Mediante una brújula se determina el rumbo del flotador, definido por la dirección de la cuerda.
- 6.- En la embarcación se van anotando en alguna libreta los datos, tales como: lugar de medición, hora, profundidad de la pantalla, tiempo que tardó en tensarse la cuerda y el rumbo magnético observado.
- 7.- En las libretas de registros de los observadores en tierra, deberán anotarse el número de medición, ángulo de la situación y hora de la observación.

Para determinar la trayectoria y dirección que siguen las corrientes se procederá de la siguiente forma:

- 1.- Con la embarcación fondeada, y fijada desde tierra por medio de los trámites, se hace la señal indicándose que se van a soltar los flotadores.
- 2.- Se sueltan los flotadores y se deja transcurrir un intervalo de tiempo, determinado por la velocidad que tenga la corriente, después de lo cual se pone en movimiento la embarcación.
- 3.- En la libreta de registro de la embarcación se debe anotar la hora de iniciación, lugar donde se inició el recorrido, tiempo de espera, tiempo transcurrido en recoger cada uno de los flotadores, rumbo observado al seguir los flotadores y numeración de los mismos según se fueron recogiendo.

*c) Corrientógrafo Neyrpic BBT.*

Es un aparato destinado a ejecutar el estudio de las corrientes marinas en dirección e intensidad, teniendo como gran ventaja la de registrar y poseer una autonomía de 8 días.

El corrientógrafo comprende:

- 1.- Un compás líquido, equipado con un dispositivo de retroceso eléctrico que alimenta un motor siguiendo el desplazamiento del compás con relación a la cubeta de la brújula y acciona el sistema de retroceso del indicador de rumbo.
- 2.- Una mesa de registro con un mecanismo de relojería (velocidad de desarrollo cm/hr) que pone en movimiento una banda de papel parafinado sobre el cual se inscriben las indicaciones de rumbo y velocidad por medio de estiletes a propósito.
- 3.- Un dispositivo electromagnético de recuento y registro que recibe las impulsiones dadas por el molinete.
- 4.- Un juego de cinco acumuladores secos que aseguran la alimentación de los diversos órganos del aparato.

Todo este conjunto de dispositivos se encuentran montados sobre un bastidor rígido e introducido en un compartimiento que lleva en su parte delantera un molinete Dumas Neyrpic, protegido por un círculo especial. La parte trasera de este compartimiento se encuentra prolongada por una cola en forma de flecha destinada a asegurar la alineación del aparato con el eje de la corriente. El compartimiento está provisto de ganchos de fijación que recibe dos sacamuelas con resortes amortiguadores y pivotes que permiten seguir fielmente al aparato los menores movimientos en cambio de dirección, inclusive si éstos se efectúan a velocidades débiles.

Por otra parte, este aparato posee un mecanismo con el cual se obtiene la velocidad de la corriente y consiste en un molinete hidrométrico Dumas.

La velocidad se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$V = a * (tbn)$$

En donde **n** = Revoluciones por minuto, **a** y **b** = Constantes del aparato, medidas durante la calibración del molinete el cual está constituido de las siguientes partes esenciales:

Una hélice de dos palas de aristas oblicuas que constituyen el motor.

Cada molinete posee un juego de hélices de diámetro y paso diferente con lo que se logra cubrir una variedad de velocidades, comprendidas entre 0.02 a 6.00 m/s.

Un eje de bronce forjado de alta resistencia que va ligado a la hélice mediante un encerrojado rápido y eficaz. Su suspensión se asegura por rodamiento a bolas de acero inoxidable al níquel, separados.

Un tornillo sinfín en la extremidad del eje, asegura a la vez el emplazamiento correcto de los rodamientos y la transmisión del movimiento de rotación de la caja de contactos por accionamiento de un pequeño piñón, el cual controlado por medio de una rampa descentrada, un pequeño tenedor cuyo movimiento de vaivén, asegura un contacto eléctrico intermitente. Según la necesidad y corto-circuitando, uno de los contactos por simple rotación parcial de una parte del aparato, se puede obtener un contacto cada 10 ó 20 vueltas de la hélice.

Todo el conjunto de estas piezas, rigurosamente concéntrico está alejado en un cuerpo cilíndrico hueco prolongado por una ojiva central y un dispositivo descentra de la hélice.

Consta además de una cámara de decantación doble situada detrás del dispositivo descentrado de la hélice, que asegura una protección perfecta de los rodamientos contra toda clase de material fino que pudiera incrustarse en ellos. El cuerpo cilíndrico termina en una cola provista de muescas para la fijación del molinete o los diferentes sistemas de uso.

El molinete tiene una forma perfilada perfectamente, además de que las operaciones necesarias para montaje y desmontaje se realizan fácilmente a mano no requiriendo de ninguna clase de herramienta.

Cuando la corriente es débil y el mar se encuentra agitado es recomendable cerciorarse de que la hélice ejecute correctamente las revoluciones en lo que hace dos contactos, porque puede producirse un regreso causando el cierre del contacto y restando de esta manera todo el sentido a la medición.

Para prevenir este riesgo de confusión, se aprovecha la particularidad que ofrece el molinete Dumas, de poseer un dispositivo que establece un doble contacto, el cual permite accionar las miras luminosas del tablero independientes, que funcionan alternativamente cuando la rotación de la hélice se hace siempre en el mismo sentido.

De esta manera resulta fácil darse cuenta si la hélice gira uniformemente o, si oscila alrededor de una posición que corresponde al encendido intermitente de la misma mira luminosa a intervalos más o menos variables.

#### REGISTRO DE DIRECCIONES.

El sistema de investigación y registro de las direcciones incluye un compás marino, sobre el cual se ha instalado una brújula encerrada en una cubeta que contiene un líquido amortiguador. La cubeta está centrada sobre la del compás y es movable en relación con ésta, por la acción del motor del retroceso.

La cubeta de la brújula lleva en el interior dos contactos fijos y separado por un aislante; un electroimán temperizado cuyo núcleo permite la inmersión y viene a apoyarse a intervalos regulares sobre la aguja imantada y cierra uno y otro contacto, el cual por medio de 2 niveles pone en marcha el motor de retroceso en uno u otro sentido.

Un sistema de “Relis” controla el golpe periódico de toma de dirección y los tiempos de apoyo (1 segundo) y de reposo (4 segundos) son respectiva e individualmente regulados por medio de dos resistencias.

El equipo magnético del compás marino está siempre orientado al meridiano magnético del lugar; la aguja imantada de la brújula sobre cualquiera de los contactos de la cubeta. El “relis” de puesta en marcha del motor se excitará y girará en el sentido conveniente para reducir la diferencia entre la cubeta de la brújula y el compás, hasta que ambos se encuentren en concordancia.

El motor pone también en funcionamiento los estiletes de registro fijados sobre la cinta sinfín, lo que permite registrar aún cuando el aparato gire más de 360° en el mismo sentido. El arreglo de los estiletes se hace antes sobre una mesa orientada tomando por punto de partida una corriente a pleno Sur coincidiendo con la banda de registro.

#### REGISTRO DE VELOCIDAD.

El dispositivo que registra la velocidad contiene esencialmente un electroimán que hace avanzar en un grado el estilete registrador por cada concepto dado por la hélice del molinete. Un sistema de “Relis” polarizado suprime la impulsión que podría ser dada por la hélice girando en sentido inverso bajo la débil acción de una corriente marina pasajera.

El tiempo de registro de los contactos está determinado por un movimiento de relojería y es igual, con un error de uno o dos segundos, a dos minutos con treinta segundos.

El registro de las velocidades de las corrientes tiene lugar todos los cuartos de hora y se presenta bajo la forma de arcos de círculos, cuya longitud es proporcional al número de grados inscritos durante los 2.5 minutos del funcionamiento. Un ábaco especial y transparente permite el fácil análisis de los datos registrados.

#### COLOCACION DEL CORRIENTOGRAFO.

Para el uso del corrientógrafo se requiere un sistema de anclaje que permita resistir los empujes del oleaje para tal efecto se recomienda el uso de muertos de concreto de 400 kilogramos de peso.

El aparato quedará unido por un lado al anclaje y por otra a una boya, la cual puede fabricarse con un tambo vacío de 200 litros.

Para izar el corrientógrafo y la boya, se hará por medio de un malacate y para levantar el muerto será necesario emplear otro malacate, requiriéndose el uso de un cable de acero con longitud suficiente para llevar a cabo tal efecto.

#### **4.3 Oleaje.**

El estudio del oleaje se hace necesario para cualquier finalidad a que se vaya destinar la zona de estudio, debido a que el oleaje llega a alcanzar proporciones de suma importancia, por ejemplo; durante la presencia de un viento fuerte, un ciclón o un huracán, que puedan poner en peligro alguna forma de estructura portuaria, o debido al tipo de arrastre de litoral o corrientes que pueda provocar.

El conocimiento de las características del oleaje en una determinada zona del mar es de gran importancia para el Ingeniero, tanto para el que proyecta como para el que construye las obras marítimas y, también para el que está a cargo de la conservación y explotación de las obras construidas.

Al diseñador y constructor le interesan el estudio del oleaje para elegir la ubicación del puerto con certeza, para el trazado de las obras de abrigo y muelles de atraque, para elegir el tipo de diques, así como para calcular la sección que ha de resistir la acción del oleaje. Al encargado de la conservación le interesan estos estudios para reparar averías que los temporales causan en las obras; y a los encargados de la navegación y explotación les es útil en la preservación de las condiciones de entrada y la agitación interior.

El oleaje es producido por la acción del viento en la superficie del agua. Al empezar a soplar el viento en el mar éste se cubre de pequeñas ondulaciones denominadas “rides”; al aumentar su intensidad, la deformación del mar se acentúa y forma las ondulaciones de aspecto desordenado en el que no es posible distinguir una propagación en una dirección determinada; cuando el viento sigue aumentando su intensidad se forma la ola y avanza en dirección del mismo, produciéndose entonces una agitación en dos dimensiones.

Estas olas producidas por el viento son oscilaciones forzadas que provocan en su giro un desequilibrio en la superficie libre del agua, que hace que las ondas se propaguen fuera de la zona de su generación por efecto de la energía cedida del viento, permitiéndole seguir desplazándose, hasta la playa en donde al romper la ola pierde toda su energía.

Los registros del oleaje hechos en un punto fijo, muestran que no se presenta una ola regular y continua, sino que más bien se presentan trenes de olas más o menos regulares, las cuales poseen diferentes características o sean diferente altura, longitud y período, siendo difícil encontrar el oleaje y características de todo el oleaje registrado, pero que apoyándose de la estadística es posible obtener la ola significativa la cual se tomará como la representativa del oleaje.

En la generación del oleaje influyen con muy poca intensidad también la atracción del sol y la luna, la variación de la presión atmosférica y movimientos sísmicos.

#### CARACTERÍSTICAS DEL OLEAJE.

Las características del oleaje son principalmente: *la longitud de onda, la altura y el período*; que dependen de la acción del viento, el fetch, la zona de decaimiento y de las características batimétricas de la zona.

***Longitud de onda.*** Es la distancia horizontal que existen entre dos cimas de dos crestas sucesivas o entre dos valles sucesivos, designada con la letra **L**.

***Período.*** Es el intervalo de tiempo que transcurre cuando, por un punto, pasan dos crestas o dos valles sucesivos. Se le designa con la letra **T**.

***Altura.*** Es la diferencia de niveles que existe entre una cresta y un valle consecutivos. Se le designa con la letra **H**.

***Fetch.*** Es la longitud de la zona de generación, o sea a lo largo de la cual actúa el viento, se le designa con la letra **F**.

**Zona de decaimiento.** Se considera que está comprendida entre dos fronteras; la primera la determina el límite de la zona de generación y la segunda se considera que es la línea de costa en donde el oleaje recalca. A lo largo de esta zona de decaimiento se supone que el oleaje se transmite debido a la inercia que adquiere por efecto de la acción del viento en la zona de generación, se le designa con la letra **D**.

**Celeridad.** Es la velocidad con que se desplaza la ola y generalmente se define con la siguiente expresión:

$$C = \frac{L}{T}$$

**Velocidad orbital.** Debido al movimiento de las olas las partículas del agua se animan de una velocidad tangencial, que normalmente es menor que la celeridad a la que sólo iguala y sobrepasa en la rompiente de la ola; se le digna con la letra **V**.

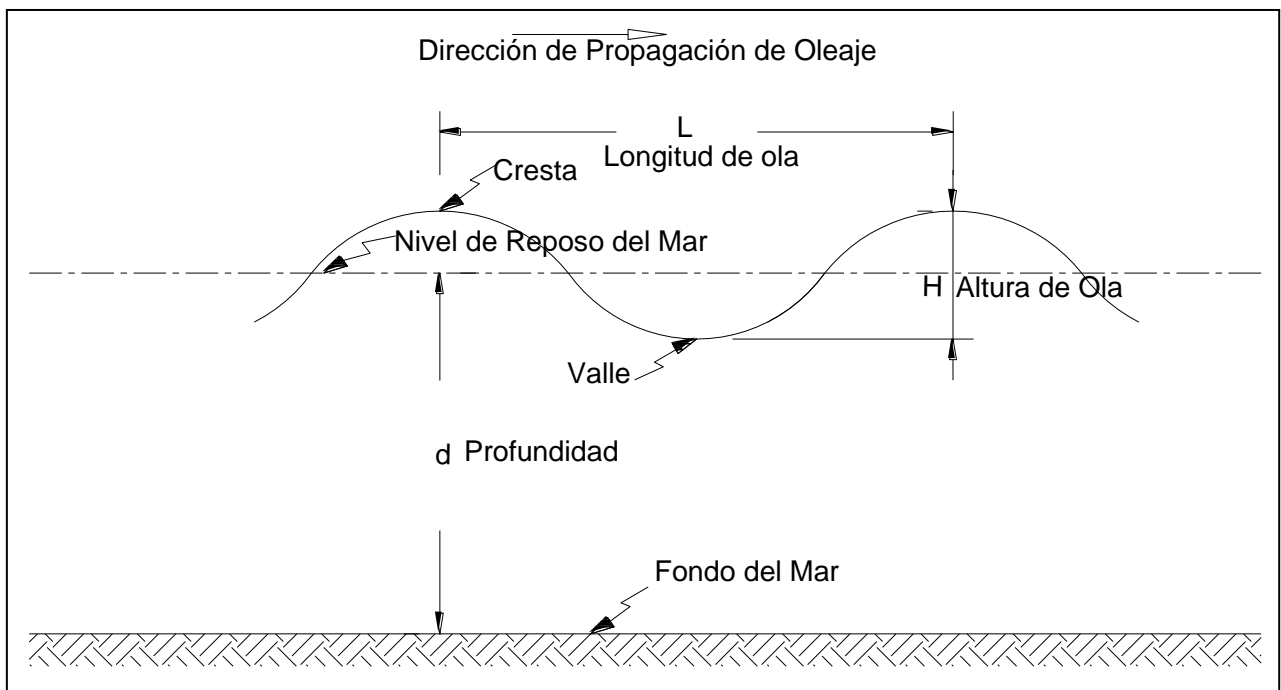


Fig. 4.9 Definición de las características del oleaje.

#### EFFECTOS DE LA BATIMETRIA.

El efecto que la configuración del fondo causa sobre el movimiento ondulatorio del agua, tiene gran importancia, haciéndose necesario definir los siguientes conceptos:

**Agua profundas.** Es la zona dentro de la cual las fricciones producidas por el movimiento del agua en contacto con el fondo, no le restan sensiblemente energía cinética al oleaje.

*Límite de Aguas Profundas.* Es el límite a partir del cual la profundidad es tal, que el fondo modifica las características de altura y longitud de la ola, debiendo satisfacer dicha profundidad la condición  $H = \frac{L}{2}$ ; lo que significa que en el límite de aguas profundas, la profundidad del centro de giro de la partícula de menor energía en el fondo, es igual a la semilongitud de la ola.

La deformación que sufre el oleaje una vez rebasado el límite de aguas profundas se ve aumentada por la variación del desarrollo batimétrico y en función de todos estos factores, se presentan las características de la ola en la costa de recalada. A la deformación del oleaje sufrido por el efecto del fondo se le denomina “refracción del oleaje”.

#### OBSERVACIONES DE CAMPO.

Con el fin de que después de haber hecho los estudios, se puedan realizar adecuadamente los proyectos de obras portuarias, es necesario conocer las características del oleaje que ya se mencionaron anteriormente; así como también, el ángulo de incidencia del oleaje formado por el frente de ola y la línea de costa.

**Altura.** Como zona lógica para hacer la medición de la altura, tenemos la zona de aguas profundas, en cuyo lugar el oleaje todavía no sufre deformaciones por efecto del fondo, sin embargo, como dicha zona siempre está muy retirada de la costa se dificulta hacer las mediciones.

Dicha medición se puede realizar por 3 métodos:

1.- Empleando una escala fija graduada a cada 10 centímetros simplemente con pintura, cambiando a cm/m el color para que se pueda apreciar claramente el cambio. Se usará una torre para sujetar la escala, que una vez instalada en el lugar efectuado se harán las lecturas desde tierra mediante prismáticos, leyéndose primero la cresta y después el valle de 10 olas consecutivas, anotándose los valores leídos en un registro, para después calcular las diferencias que determina la altura de cada ola, haciéndose posteriormente un promedio de la altura de las 10 olas.

La torre empleada de sostén de la regla, puede ser tubular de preferencia y en forma de tripié, dejando un par de patas sensiblemente paralelas a la costa, con objeto de presentar menor área expuesta a la acción del oleaje, que pudiera durante una marejada echarla abajo, estando en función de este fenómeno el lastre a emplear, que bien pudieran ser muertos de concreto.

2.- Otro método que se utiliza para medir la altura de la ola es empleando el olómetro y que se constituye fundamentalmente de una cruceta de 6 lados para acoplar a ellos otros tantos de tubo, colocándose en el extremo de cada uno de estos tubos horizontales 4 flotadores sujetos convenientemente, hechos a base de madera o de tablas de lámina metálica pintada para protegerlos de la corrosión del agua salada, ya que permanecerán 1 ó 2 metros bajo la superficie libre del agua.



Todo se lastra convenientemente a un muerto de concreto, usándose generalmente un tramo de cadena del extremo inferior del tubo al muerto. La escala sobre la cual se harán las lecturas, generalmente es de madera y de forma circular a manera que se pueda introducir en la parte superior del tubo, usándose diferentes colores, a cada 10 centímetros las graduaciones o bien haciendo una combinación de 2 colores a todo lo largo y tratando de poner una señal en la parte superior de la regla a manera de poder tener una identificación.

3.- El ológrafo es un aparato que se utiliza para registrar las alturas de las olas. El registro se logra en función de las variaciones de presión que se producen con el cambio de nivel que va tomando la superficie del agua al pasar las crestas y los valles de las olas.

Con el empleo de éste aparato se obtiene una gran ventaja ya que en función de las variaciones de presión se registrará *el período y la longitud de onda*.

La instalación del aparato se hace sobre una base lo suficientemente amplia para evitar su hundimiento, sujetándose a una boya por medio de una cadena, sirviendo dicha boya en la superficie para identificar el lugar preciso en el que se encuentra el ológrafo.

### ***Longitud.***

Para determinar la longitud de la ola y el ángulo de incidencia del oleaje se recomienda el siguiente procedimiento:

1.- Se fondean 3 boyas A, B y C, de tal forma que colocadas definan un triángulo rectángulo isósceles, tratando de que uno de sus lados sea sensiblemente paralelo a la costa.

2.- Se calcula el tiempo promedio que tarda en pasar la ola de la boya A a la boya B, o sea  $t_1$ , y de la boya A a la boya C, o sea  $t_2$ .

3.- Conociendo estos tiempos se calcula el valor del ángulo de incidencia del oleaje mediante la fórmula:

$$\cot \alpha = \frac{t_1}{(t_2 - t_1)}$$

4.- Una vez conocido el valor del ángulo se puede calcular el valor de la celeridad y la longitud de la onda mediante las fórmulas siguientes:

$$c = \frac{(k \operatorname{sen} \alpha)}{(t_2 - t_1)}$$

$$L = C * T$$

Donde:

T = Período obtenido por observaciones.

C = Celeridad.

K = Medida de los lados del triángulo.

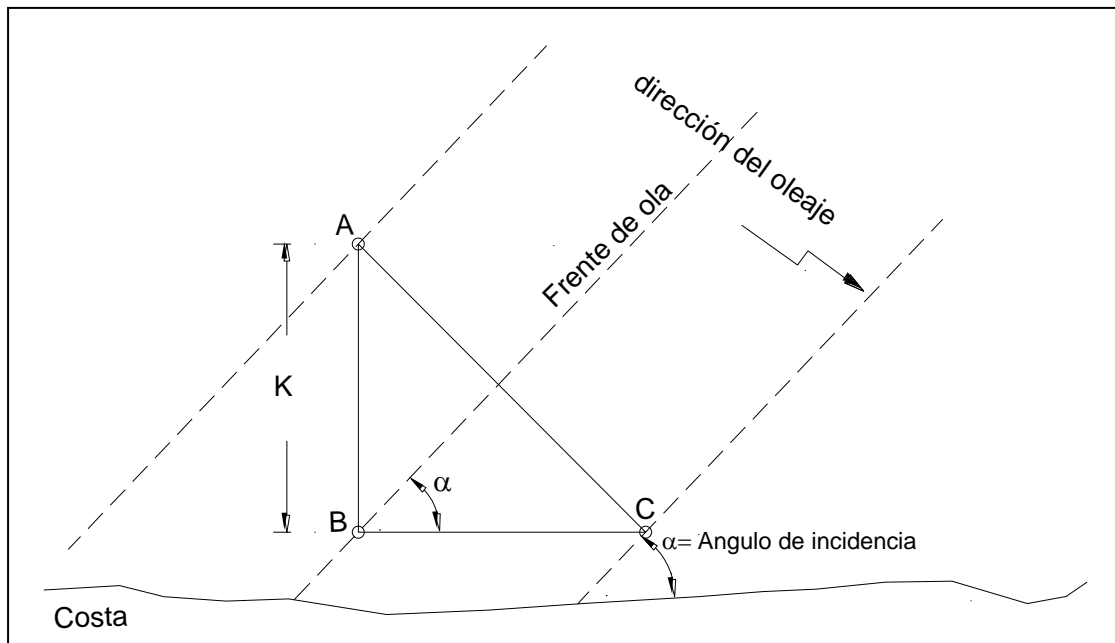


Fig. 4.10 Método del triángulo mediante boyas.

### **Período.**

La manera de determinar el período es la siguiente:

- 1.- Se elige un punto fijo dentro del agua bien determinado y se mide el tiempo que transcurre durante el paso de 11 crestas u 11 valles consecutivos por el mismo punto.
- 2.- El tiempo medido según el paso anterior se divide entre 10.
- 3.- Este procedimiento de observación se repite de acuerdo a la precisión que se desee obtener y así haremos 5 ó 10 veces, determinando el promedio.

$$T = \frac{(t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n)}{n}$$

### **4.4 Transporte de litoral.**

El transporte de litoral es la cantidad de volumen de material de fondo sólido que se pone en movimiento por efecto del oleaje o las corrientes. Tiene dos componentes principales, el material que se mueve por el fondo y el que se encuentra en suspensión.

El material grueso se mueve a lo largo de la costa en zig-zag, por la influencia del avance y retroceso de las olas. El proceso del transporte paralelo a la playa, se debe al avance de la acción de las corrientes paralelas a la playa forzadas en la zona de rompientes, por tal efecto de las olas rompientes que chocan con cierto ángulo con la orilla.

Aunque las olas tienden a ser paralelas a la orilla por causa de la refracción, por lo regular rompen en ángulo pequeño, con el resultado de que se forma una corriente litoral que mueve lentamente una masa de agua y los sedimentos puestos en suspensión por las olas rompientes a lo largo de la playa.

Estas corrientes, combinadas con la acción agitante de las olas, son el principal factor de movimiento de arena a lo largo de la playa o costa.

Se tiene la certeza de que el mayor porcentaje del transporte litoral se lleva a cabo adelante del punto de rompiente del oleaje.

El conocimiento de la fuente de aporte de arena y la dirección del transporte litoral a lo largo de la costa, es de importancia fundamental en el estudio de la erosión de las playas.

Una ola al aumentar sobre fondos arenosos pone en suspensión cantidades considerables de arena.

Las olas en las rompientes generan corrientes que representan el papel de vehículos transportadores de arena puestos en suspensión.

Estas corrientes adquieren también velocidades en el fondo tales que originan simultáneamente el transporte de arenas por el fondo.

Los diversos caminos por los cuales se pueden encontrar los factores de la fuente de aportación de arena y la dirección del transporte de litoral a lo largo de la costa son:

El empleo de métodos hidrográficos de uso común; tales como: el levantamiento del lecho marino y la línea de costa; levantamientos aéreos, datos de oleaje, análisis de los diagramas de refracción de las olas, medidas de las corrientes y muestreo de la carga suspendida y de sedimentos de fondo (incluyendo análisis granulométrico).

El uso de “trazadores naturales; tales como: la fracción de minerales pesados o las inclusiones de conchas en muestras sedimentarias en relación con el lugar de origen.

El uso de “trazadores radioactivos”, caracterizados por un radioisótopo distintivo, ya sea incorporando un material activado a un sedimento artificial o por la acción química o física de una película radioactiva a un sedimento natural; o bien embebiendo el material radioactivo dentro de las partículas en el caso de que se empleen gravas.

El uso de trazadores luminiscentes, incorporando material fluorescente en sedimentos artificiales, o por medio de la adhesión de una película luminiscente a partículas pertenecientes a sedimentos naturales.

El uso de modelos hidráulicos de fondo móvil compuesto de material artificial o natural para simular los procesos sedimentarios que se llevan a cabo en el prototipo.

### FÓRMULAS DE EVALUACION DEL TRANSPORTE LITORAL.

Para poder determinar de una manera práctica la cantidad de material sólido que es arrastrado a lo largo de la línea de costa, se han verificado un sinnúmero de intentos.

Las causas principales que afectan o producen el transporte litoral han sido estudiadas en el Laboratorio (Krumbein 1944, Seville 1950, Johnson 1952, Savuaje de Saint Marc 1955), sin embargo no se ha logrado todavía un entendimiento completo del problema, a pesar de la mucha importancia que esto representa en los proyectos, desarrollos y conservaciones de canales de navegación, puertos y playas.

Existen algunas fórmulas que permiten evaluar la cantidad de transporte de litoral. Todas son semiteóricas o completamente empíricas, puesto que algunos elementos físicos no están totalmente descifrados. Entre las más comunes se tiene:

$$\text{Eaton} \quad Q = k * we * \sin(a * b) \cos(a * b) \quad (1)$$

$$\text{Los Angeles} \quad Q = \frac{1}{2}k_1 * we * \sin 1a \quad (2)$$

$$\text{Caldwell} \quad Q = 210 \text{ EOB}; E = ET \text{ Sen } \phi_1 \cos \phi_1 \quad (3)$$

$$\text{Bajo runas} \quad Q = E_o N \text{ Sen } A_o (1 - e^{-b D_{co}} T S_o) \quad (4)$$

Donde:

Q = Factor de transporte litoral.

W = Trabajo totalmente realizado por todas las olas de un período y dirección dados.

o = Coeficiente de energía de la ola.

a. $\phi_1$  = Ángulo entre la ola y la línea de rompiente y la orilla.

E = Energía paralela a la costa.

E<sub>o</sub> = Energía de la ola en aguas profundas.

K<sub>1</sub>N<sub>1</sub>a<sub>1</sub>b = Constantes.

D = Longitud de la zona de influencia.

Sufijo b = Rompiente.

Sufijo o = Agua profunda.

Los autores de las anteriores fórmulas, dicen que existe una relación directa entre la componente de energía paralela a la costa y la proporción de transporte litoral.

El movimiento oscilatorio del agua de mar pone los sedimentos en suspensión y las corrientes litorales suministran un movimiento unidireccional. Sin embargo, existe la dificultad práctica de que no ha sido posible obtener teorías completamente dignas de crédito que expliquen el transporte de material en ríos y canales con flujo en una sola dirección.

Otra fórmula comúnmente empleada en nuestros litorales es la expresión del profesor Larras, quien propone la siguiente expresión para el cálculo del transporte sólido.

$$Q_s = k * g * t * H^2 * T \sin 2 \alpha$$

Donde:

$Q_s$  = Gasto sólido en metros cúbicos por año.

$K$  = Constante =  $0.118 * 10^{-5} * D_{so}^{-42} * (L_o/H_{os})$

$g$  = Aceleración de la gravedad =  $9.81 \text{ m/s}^2$

$t$  = Tiempo de acción del oleaje durante un año.

$H$  = Altura de la ola a 3 metros de profundidad, en metros.

$T$  = Período del oleaje en segundos.

$\alpha$  = Angulo de incidencia del oleaje a 3 metros de profundidad, en grados.

Este método se aplica a playas rectas en donde la batimetría es bastante uniforme, sin que la playa presente obstáculos y que se encuentre sujeta a transporte litoral.

El acarreo determinado comprende tanto el material que se desarrolla por lo alto de la playa como el que se presenta en la rompiente.

$$K^2 = \left(\frac{b_o}{b}\right)$$

Donde:

$b_o$  = Distancia entre ortogonales en aguas profundas.

$b$  = Distancia entre ortogonales en aguas reducidas.

El valor del ángulo se obtiene en cada canal de refracción. Esta fórmula es bastante empleada en nuestro país ya que se ha comprobado con la experiencia que da buenos resultados debido posiblemente a la característica de formación que presentan nuestras costas.

#### VALUACIÓN DEL TRANSPORTE LITORAL POR MEDIDAS DEL DEPOSITO O EROSION.

Un método para calcular de manera directa el transporte litoral consiste en estimar la proporción del transporte a lo largo de la línea de costa, a partir de la cantidad de material atrapado en estructuras costeras naturales o artificiales.

#### TRAZADORES NATURALES.

El análisis mineralógico de muestras recolectadas en sitios representativos del área en estudio sirve de auxiliar en la determinación de la dirección del transporte litoral.

Las muestras quedan sujetas al análisis del tamaño, los minerales pesados de un determinado tamaño son estudiados microscópicamente por rayos X, por análisis teóricos diferenciales o

por separación magnética y son clasificados de acuerdo con su tipo geológico. Se registra también su redondez, esfericidad, color y erosión. Las fuentes fluviales de dichos minerales y su distribución a lo largo de la costa pueden proporcionar importante información cualitativa para estimar la dirección del transporte sedimentario.

## TRAZADORES ARTIFICIALES.

### *1.- Uso de Radioisótopos.*

El uso de elementos radioactivos en el estudio de movimientos de sedimentos, constituye una técnica establecida. Los radioisótopos más empleados son:

ELEMENTOS	PERÍODO (días)
Bario-Lantano Ba <sup>140</sup> -La <sup>140</sup>	12.8
Escandio Sc <sup>46</sup>	84
Zinc Zn <sup>65</sup>	245
Plata Ag <sup>110</sup>	270

Al escoger el elemento radioactivo debe considerarse los siguientes factores:

- Duración del fenómeno que se va a estudiar.
  - Una investigación del elemento radioactivo lo más simple posible y precisa. Se debe recurrir a un método de investigación simple y directo mediante contadores Geiger o cintilantes.
- Por lo tanto, el elemento radioactivo agregado debe ser un emisor gamma y la energía de su radiación debe ser superior a 1 Me V. Las radiaciones gamma son de mayor poder de penetración.
- La cualidad de las radiaciones emitidas debe ser un poco ionizante, a fin de que las zonas frecuentadas sea poco peligrosa para la salud de las personas.
  - La cantidad de material marcado a utilizar, teniendo presente la dispersión del mismo durante el ensayo.

Con el fin de conservar las propiedades físicas y geométricas de los sedimentos lo más recomendable es marcar directamente los sedimentos en el mismo lugar en que se van a realizar los estudios, para lo cual se debe de radioactivar la zona con una pila atómica.

Anteriormente se realizaba esta radioactivación con fósforo 32, pero debido a que emite una gran cantidad de rayos gamma no es recomendable. En base a esta dificultad surgió inicialmente la idea de sustituir los sedimentos naturales por artificiales que tuvieran la misma granulometría y densidad. Fue así como los japoneses utilizaron el vidrio granulado en sustitución de elementos naturales, juntando al vidrio en su fabricación Zinc<sup>65</sup>. Los ingleses utilizaron en sus estudios vidrio de botella de refresco con cerca de 5% de óxido de escandio el cual irradiado con una pila atómica se avenga al Sc<sup>46</sup>.

Existen otros métodos de marcación directa en el área de estudio, por ejemplo, los ingleses emplearon Bario<sup>140</sup>-Lutanio<sup>140</sup> y el método francés como Dromio<sup>51</sup>.

En campo, cualquiera que sea el estado del mar y con los detectores apropiados es muy fácil seguir el trazo rápidamente.

#### TRAZADORES LUMINISCENTES.

Debido a que las opciones de marcar arenas con colorantes no daba buenos resultados, no sólo porque la película colorante es fácilmente destruible, sino porque también existen dificultades de reconocer los granos marcados que se dispersan, para resolver de alguna manera este problema, en la antigüedad los científicos tuvieron la idea de envolver los granos de arena con sustancias luminiscentes que son cubiertos por una película coloidal destinada a proteger al luminiscente.

Basándose en las propiedades que presentan los luminiscentes de que en la oscuridad absoluta, son invisibles sujetos a radiaciones de rayos ultravioleta emiten radiaciones visibles. El contraste de la luminosidad entre los granos marcados con los no marcados es tal que permite distinguir fácilmente un grano marcado entre 10 millones de granos no marcados.

En las aplicaciones se emplea una lámpara de vapor de mercurio o un luminoscopio solar, en cualquiera de los dos casos se hace filtrado por el vidrio de Wood, escogiéndose las radiaciones más convenientes.

Las sustancias empleadas para proteger los luminiscentes son variadas y cada una tiene diferente duración.

Este método ha sido aplicado en estudios de gran escala con mucha frecuencia y con buenos resultados.

Las variaciones de colores nos da la posibilidad de identificación de sedimentos que se mueven a diferentes profundidades o a una sola profundidad en función de su tamaño de grano. Además puede estudiarse la influencia de las diferentes densidades y de las similitudes geométricas de la forma de la partícula.

Los primeros intentos para marcar arenas con el fin de elaborar trazadores fluorescentes fueron realizados por Wasmund (1938), quien obtuvo un trazador poco resistente a la abrasión. En los siguientes 20 años los esfuerzos se limitaron a usar diversas variedades de tintas para impregnar sedimentos, sin lograr resultados satisfactorios. Zenkovitch (1958), elaboró trazadores para estudiar la deriva litoral en el Mar Negro como parte de un programa del Instituto Oceanográfico de la U.R.S.S., en el proceso de marcado usó ágar obteniendo resultados similares a los de Wasmund. Experimentos adicionales fueron efectuados por Wright (1962), quien desarrolló una técnica de marcado de grava y arena usando antraceno. Sus pruebas las realizó en la zona de entremareas obteniendo resultados positivos. Estudios más detallados fueron realizados por Teleki (1962), quien describió las clases más importantes de trazadores fluorescentes orgánicos, estableció métodos de preparación de sustancias

adhesivas y trazadores fluorescentes de alta intensidad y desarrolló técnicas de aplicación de marcadores ópticamente activos a granos de arena. Crickmore y Lean (1962), estudiaron el movimiento de la arena en un flujo unidireccional y discutieron los aspectos teóricos y prácticos de su método. Los primeros programas de mediciones extensivas de dispersión de sedimentos usando trazadores fluorescentes fueron llevados a cabo por Ingle (1966), frente a las costas de California. Sus mediciones se realizaron bajo una amplia variedad de condiciones de oleaje y mareas en las zonas de postplaya y anteplaya. Entre los trabajos recientes que han producido mejores resultados cuantitativos en la evaluación de transporte litoral está el de Komar (1970), la sensibilidad de su técnica de conteo fue de un grano marcado por  $2 \times 10^7$  granos sin marcar, la dirección y el flujo de energía de la ola se obtuvieron de mediciones simultáneas de características de oleaje por un arreglo de sensores digitales de variación de presión colocados cerca del fondo. Otra contribución importante para el entendimiento del transporte litoral es la de Kadiv (1973), en su trabajo la duración de la inyección, del trazador fue de 21 días y las líneas de muestreo se extendieron hacia afuera de la costa hasta que los granos marcados ya no fueron detectables. En México la técnica de los trazadores fluorescentes para medir el transporte de arenas es de uso reciente. García (1973), ensayó pinturas fluorescentes en solventes obteniendo resultados satisfactorios.

#### ***4.5 Características físicas del agua.***

Aunque la investigación de dichas características pertenezcan más a los estudios de laboratorio que a los de campo, existirán algunas localidades en las cuales sea necesario que la brigadas de campo procedan a ejecutarlos.

##### ***Temperatura.***

La radiación solar es el agente que determina directa o indirectamente la temperatura del agua del mar, resultando lógica que la superficie expuesta a los rayos solares posea una temperatura superior a las de las capas inferiores.

En algunas ocasiones puede haber variación debido a la mezcla de corrientes tanto marítimas como fluviales que posean diferentes temperaturas.

Las temperaturas se obtendrán a diferentes profundidades en línea vertical, pudiéndose hacer fácilmente la construcción de una gráfica de temperaturas contra profundidades.

##### ***Determinación de las temperaturas.***

Deberá existir un plan trazado para efectuar las mediciones, así como también se fijará la localización de las estaciones para medición de temperatura, tomándose estas con un termómetro centígrado graduado de  $0^\circ$  a  $50^\circ$  en el que se puedan obtener lecturas con aproximación de décimos de grado.

En la actualidad, para hacer las lecturas de temperatura, se cuenta con aparatos eléctricos; los cuales automáticamente registran la temperatura precisa del agua, mediante un transductor que



se sumerge a la profundidad requerida y el cual transmite al aparato en la superficie automáticamente las diferentes temperaturas del agua.

Cada vez existen aparatos que simplifican estos trabajos y que además ofrecen mayor precisión, con una mayor capacidad en todos los sentidos.

### ***Salinidad.***

La composición del agua es tan complicada como lo es la tierra, entendiéndose que cualquier sustancia soluble en la tierra puede ser arrastrada hacia el mar.

El agua de mar es una solución diluida de un gran número de compuestos salinos que son grandes electrolitos, los cuales han designado con el nombre el nombre de salinidad, de tal manera que ésta pueda definirse como el número total de gramos de material sólido disuelto en un kilogramo de agua expresada en por ciento o en parte por millar.

Anteriormente se hacían las lecturas de salinidad del agua basándose en la densidad de la misma, y el método consistía en determinar la densidad relativa o gravedad específica con un hidrómetro. La densidad y la salinidad están relacionadas de tal forma que si se conoce la densidad relativa se puede conocer la salinidad mediante el uso de tablas o gráficas especiales para este uso.

En la actualidad se utilizan instrumentos modernos que ofrecen datos de una manera precisa y directamente se puede obtener la medición de salinidad, temperatura y conductividad al mismo tiempo. Estos aparatos ofrecen un alto grado de precisión, por lo que el error que puede llegar a tener es despreciable.

Estos aparatos constan de un transductor que mediante un cable está unido a una caja maestra que en la embarcación se lleva y, es ahí donde se aprecian directamente la tres lecturas simultáneamente.

Es de mucha ventaja el poder realizar las lecturas en el sitio sin tener que llevar las muestras a un laboratorio para que sean analizadas, al menos no para obtener estos datos.

## Conclusiones.

Como bien se menciona a lo largo de este trabajo, los estudios preliminares para la realización de cualquier proyecto, deben de hacerse de una manera precisa, dado que de los resultados de estos estudios va a depender el diseño de la obra que se vaya a realizar.

En este caso, refiriéndonos a un Sistema Portuario, se requieren una serie de estudios los cuales son fundamentales para el adecuado diseño de cada uno de los elementos que lo conforma y más porque toda su vida útil está expuesto a las condiciones marinas que, debido a que son muy variables, suelen ser muy extremas cuando se presenta un fenómeno natural que pone a prueba cualquier obra construida por el hombre.

Hablando específicamente de los “Estudios de campo para definir la ubicación de un Sistema Portuario”, los clasificamos en estudios topográficos, estudios meteorológicos y oceanográficos.

Los **estudios topográficos**, en la Ingeniería Civil, son la base de cualquier proyecto; ya que nos dan una visión previa del sitio donde se pretende construir cualquier tipo de obra. Y, en base a estos, definir cuál es el sitio idóneo para ejecutar el proyecto, esté en caso de que se tenga la opción para elegir entre una zona y otra. En caso que no se tenga opción, se aprovecha la información de la topografía para hacer una cuantificación de movimiento de tierras o ajustar el proyecto a la superficie y condiciones del terreno.

En la actualidad, aprovechando el avance de la tecnología, los trabajos de topografía se han simplificado considerablemente, además de incrementar significativamente la calidad de los mismos, reflejándose en tiempo y costo de realización.

Los estudios topográficos en la Ingeniería de Costas, se pueden clasificar en estudios topográficos y batimétricos; los estudios topográficos, en el documento, se especifica que son los realizados en la zona de estudio pero en tierra firme la cual forma parte de la línea costera hacia tierras continentales. Y los estudios batimétricos son los realizados de la costa hacia afuera, o sea, en la zona que se encuentra ocupada por el mar.

En fin, se debe de tener un buen trabajo de topografía y batimetría, para tener la información suficiente y precisa, para empezar con los trabajos de diseño y distribución de cada una de las instalaciones que conforman un Sistema Portuario.

Los **estudios meteorológicos**, que son los relacionados con el clima, y son un tanto impredecibles, por lo mismo, se debe de poner demasiado cuidado en los datos obtenidos en este tipo de estudios, ya que a partir de estos datos es como se hacen las predicciones o estimaciones de cada uno de los fenómenos. En la actualidad se cuenta con instrumentos muy sofisticados que han facilitado la obtención de los datos, no tanto así la precisión de estos.

Las estaciones meteorológicas son la parte fundamental de los estudios meteorológicos, ya que en ella se albergan los instrumentos de medición de viento, lluvia, temperatura, etc. Dichos fenómenos interactúan directamente con el Sistema Portuario, para lo cual se les debe de estudiar y en base a datos estadísticos, controlar su comportamiento o prever algunas causas desfavorables para las instalaciones, personal, o equipo, tanto en los trabajos de construcción de la obra, así como durante la vida útil.

Los **estudios oceanográficos**, se realizan directamente en la zona ocupada por el océano, de la misma manera que los estudios meteorológicos, éstos también requieren de una serie de mediciones, para posteriormente contar con información y hacer predicciones sobre el comportamiento del mar en la zona a estudiar. Dentro de estos estudios, tenemos el oleaje, que es un fenómeno muy variable, inclusive en un mismo día, puede presentar distintas variaciones y comportarse de manera muy extrema.

Hablando de una obra marina, el oleaje es uno de los elementos de principal interés debido a que estará interactuando directamente con las instalaciones del puerto, entonces es necesario conocer su comportamiento para poder hacer un diseño adecuado de las instalaciones que van a estar expuestas directamente, con el fin de proporcionar abrigo al Puerto. Otro fenómeno a estudiar es el transporte de sedimentos; debido a la acción continua e ininterrumpida del oleaje, se mueven grandes cantidades de material del suelo marino ,por lo que se debe de estudiar cuanto material está entrando o cuánto está saliendo, y poder cuantificar los volúmenes a dragar dentro de las instalaciones con el fin de proporcionar las dimensiones para que la navegación no tenga ningún percance debido a la acumulación de material dentro del puerto, y, con esto se pueda evitar un lamentable accidente y cuantiosos daños económicos.

Estos estudios de campo, no son los únicos que se realizan para determinar la ubicación de un sistema portuario, existen muchos más, pero estos otros van enfocados hacia cuestiones químicas y algunos otros, como los de el estudio del suelo, se hacen una vez que ya se ha definido el sitio en donde se construirán las instalaciones, para determinar condiciones del sitio y hacer diseños estructurales o elegir materiales para que se tenga la resistencia necesaria para la estabilidad y funcionamiento del Sistema Portuario.

## Bibliografía.

- TESIS PROFESIONAL  
Estudios de Campo en la Ingeniería de Costas  
René Eduardo Martínez Zabatdeny  
ESIA, IPN, 1973
- Benjamín Peña Alcalá  
TOPOGRAFÍA PARA PRINCIPIANTES  
Facultad de Estudios Superiores Aragón (UNAM)  
México, 2005
- Dante Alfredo Alcántara García  
TOPOGRAFIA  
Fundación ICA, UAEM, UAM  
México, 2001.
- Paul R. Wolf y Russell C. Brinker  
TOPOGRAFÍA MODERNA  
9ª Edición  
Alfaomega Grupo Editor  
México, 2007
- Armando Frías Valdez, Gonzalo Moreno Cervantes  
INGENIERIA DE COSTAS  
2ª Edición  
Limusa  
México, 1988
- Guillermo Mc Donel Martínez  
INGENIERÍA MARÍTIMA Y PORTUARIA  
Alfaomega Grupo Editor  
México, 1999
- [http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id\\_articulo=737](http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=737)
- <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geodesia/coordenadas.aspx>