



# **Universidad Nacional Autónoma de México**



**Facultad de Ingeniería**

**Construcción de muelle en la Isla de la  
Roqueta, Acapulco, Guerrero.**

## **TESIS PROFESIONAL**

**Que para obtener el Título de**

**INGENIERO CIVIL**

**Presentan:**

**DANIEL CASTREJÓN BARDALES  
MIGUEL ANGEL GUADARRAMA GUTIÉRREZ**

**MÉXICO, D.F.**

**2007**



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIRECCIÓN  
FING/DCTG/SEAC/UTIT/008/04

Señores  
DANIEL CASTREJÓN BARDALES  
MIGUEL ÁNGEL GUADARRAMA GUTIÉRREZ  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M.C. ALEJANDRO MURILLO BAGUNDO, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrollen ustedes como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

**"CONSTRUCCIÓN DE UN MUELLE EN LA ISLA DE LA ROQUETA, ACAPULCO, GRO."**

- INTRODUCCIÓN
- I. ESTUDIOS FÍSICOS
- II. CRITERIOS DE DISEÑO
- III. CASO PRÁCTICO: "CONSTRUCCIÓN DE UN MUELLE EN LA ISLA DE LA ROQUETA, ACAPULCO, GRO."
- IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Ruego a ustedes cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo les recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cd. Universitario a 22 de febrero de 2007  
EL DIRECTOR

  
MTRD. JOSÉ GONZALO GUERRERO ZEPEDA  
JGGZ/AJP/

*A mi madre que gracias a su sacrificio, su ejemplo, dedicación y cariño; me dio la oportunidad y las herramientas para terminar mi carrera.*

*A mi querida tía Alfonsa B. quien con su apoyo me permitió alcanzar esta meta; siempre estaré agradecido contigo donde quiera que estés.*

*A mis hermanos Luis, Marcos, Lucia; mis compañeros de vida que han compartido tantas cosas conmigo, son mi apoyo incondicional y mis tesoros.*

*A mis amigos con quienes he compartido aulas, profesión, situaciones de la vida y me han brindado su confianza, cariño y apoyo en momentos difíciles de mi vida. No es necesario que los nombre por que ustedes saben cuanto les aprecio y valoro su amistad.*

*A Adriana O. G. con quien compartí una pequeña parte de mi vida, quien me impulso a terminar este trabajo y a quien siempre le pertenecerá un espacio en mi corazón. Aprendí muchas cosas contigo mucha suerte y éxito en todas tus empresas.*

*A mis profesores que me dieron una sólida formación académica y fuertes bases éticas para desempeñar esta profesión en beneficio de la sociedad y de mi país.*



*A MI MADRE ANTONIA GUTIERREZ CORTES*

*Con amor y gratitud a la mujer que medio la vida, que con su amor ternura y sobre todo comprensión a sabido guiar mis pasos por buen camino,  
Gracias por todo su apoyo y amor incondicional.*

*A MIS HERMANOS*

*Juventino, Josefina, Salvador, Verónica, Efrén, Maria, Irma. A quienes quiero inmensamente y con quienes he vivido momentos inolvidables de mi vida, y con quien quiero compartir este logro, solo me queda darles las gracias por sus palabras de aliento y su apoyo incondicional para seguir adelante.*

*A MIS SOBRINOS*

*A los cuales quiero mucho, y en especial a Adrián con quien viví una etapa muy padre de mi vida, espero que logres tus metas que te has fijado, les deseo lo mejor de mi en todas las aventuras que emprendan.*

*A Evelyne Z. R, quien es una persona sensacional de quien aprendí que no importa que tan lejos estén nuestros sueños, siempre hay que luchar por conquistarlos*

*A mis compañeros y amigos de aula, con los cuales sufrimos, reímos de nuestros triunfos y fracasos, gracias por su apoyo y amistad. Les deseo mucho éxito En su vida personal y profesional.*

*A MIS PROFESORES*

*Que con sus consejos y enseñanzas me han permitido desempeñarme de buena manera profesionalmente y sobre todo como persona  
Gracias por todo,*

---

---

# INDICE

<b>Introducción</b> .....	1
---------------------------	---

## Capítulo uno: Estudios Físicos

<b>1.1</b> Descripción general	4
<b>1.2</b> Viento	4
<b>1.2.1</b> Caracterización	4
<b>1.2.2</b> Origen	6
<b>1.2.3</b> Fuerzas generadas por el viento	9
<b>1.2.4</b> Diagrama de Lenz	13
<b>1.3</b> Mareas	15
<b>1.3.1</b> Mareas astronómicas	16
<b>1.3.2</b> Mareas de tormenta	18
<b>1.4</b> Corrientes	20
<b>1.4.1</b> Corrientes oceánicas	20
<b>1.4.2</b> Corrientes producidas por oleaje	22
<b>1.4.3</b> Corrientes paralelas a la costa	24
<b>1.4.4</b> Corrientes por marea	25
<b>1.5</b> Oleaje	29
<b>1.5.1</b> Oleaje normal	26
<b>1.5.2</b> Oleaje extraordinario	30
<b>1.6</b> Conformación del fondo marino	31
<b>1.6.1</b> Levantamiento batimétrico	31
<b>1.6.2</b> Mecánica de suelos	42

## Capítulo Dos: Criterios de Diseño

<b>2.1</b> Embarcación tipo	44
<b>2.2</b> Elementos Estructurales	44
<b>2.2.1</b> Subestructura	51
<b>2.2.2</b> Superestructura	52
<b>2.3</b> Instalaciones	56
<b>2.3.1</b> Obras Accesorias	56
<b>2.3.2</b> Obras de de Defensa	58

## **Capítulo Tres: Caso Práctico “Construcción de muelle en la Isla de la Roqueta, Acapulco Guerrero.”**

<b>3.1</b>	Alcances	67
<b>3.1.1</b>	Recopilación de información básica	67
<b>3.2</b>	Trabajos de campo	69
<b>3.2.1</b>	Inspección y Levantamiento Físico de las Instalaciones Actuales	70
<b>3.2.2</b>	Levantamiento Topobatimétrico	73
<b>3.3</b>	Estudios de Mecánica de suelos	76
<b>3.3.1</b>	Trabajos de Exploración Geotécnica	76
<b>3.3.2</b>	Trabajos de Laboratorio	76
<b>3.4</b>	Trabajos de Gabinete	82
<b>3.4.1</b>	Evolución Costera	83
<b>3.4.2</b>	Levantamiento de Información de Posibles Usuarios	86
<b>3.4.3</b>	Planteamiento de Alternativas de Solución de Ingeniería	89
<b>3.5</b>	Diseño del Muelle	90
<b>3.5.1</b>	Datos de proyecto	90
<b>3.5.2</b>	Diseño de cimentación	102
<b>3.5.2.1</b>	Pilas	104
<b>3.5.2.2</b>	Pilotes	108
<b>3.5.3</b>	Diseño de la superestructura	109
<b>3.6</b>	Catalogo de conceptos, especificaciones generales y particulares de construcción	119
<b>3.7</b>	Integración de información básica del proyecto para elaborar el estudio de impacto ambiental	121
<b>Capítulo cuatro: Conclusiones y Recomendaciones</b>		
<b>4.1</b>	Conclusiones	123
<b>4.2</b>	Recomendaciones	127
<b>Referencias Bibliográficas</b>		129
<b>Anexos</b>		132
Anexo A: Planos Batimétricos		133
Anexo B: Gráficas de Mecánica de Suelos		134
Anexo C: Planos Estructurales		135

## **Introducción**

Las necesidades para el desarrollo del país exigen cambios de manera estructural y acelerada, para estar a la altura de los países con los que existe un intercambio comercial y turístico.

Con el fin de avanzar en la modernización y expansión de la infraestructura portuaria, en nuestro país cada año se invierten varios millones de pesos, destinados principalmente a la ejecución de obras de atraque, almacenaje, protección y dragado en los puertos, buscando hacerlos suficientes, eficientes y seguros, para satisfacer las demandas de la dinámica del transporte marítimo mundial.

Los puertos turísticos son una parte muy importante dentro del subsector portuario, dado que sus aportaciones son sustanciales en el sector económico.

El puerto de Acapulco, es reconocido internacionalmente por sus playas y paisajes naturales, excelente hotelería y su gran variedad de atractivos culturales, es uno de los puntos más importantes para el arribo de cruceros, el cual es uno de los principales mercados turísticos del país, que ofrece amplias posibilidades de desarrollo a nivel internacional.

Además, es el primer Puerto operado de manera integral con recursos privados, lo cual ha significado un complemento a la inversión pública. En dicho puerto, arriban cruceros y se moviliza la exportación de automóviles, por lo que ha sido necesaria la ampliación y la modernización de las instalaciones y los servicios proporcionados.

De manera complementaria, el Gobierno Federal ha llevado a cabo diversas obras en el puerto. Rehabilito el malecón, para permitir el atraque seguro de embarcaciones turísticas de recreo y desarrolla el proyecto de un nuevo muelle en la vecina Isla de La Roqueta.

El presente trabajo tiene la finalidad de presentar un proyecto para la construcción de un muelle en la isla de La Roqueta en el estado de Guerrero, aplicando los conocimientos fundamentales de la ingeniería, apegándonos lo más posible a las soluciones que se aplicarían a un problema práctico en la vida profesional.

El documento contiene cuatro capítulos; en el primero se describen los fenómenos físicos que intervienen en el diseño; en el segundo se mencionan las características de diseño de puertos y muelles, así como algunos ejemplos; en el tercero se hace una recopilación de los dos capítulos anteriores, a fin de plantear una solución al caso práctico del diseño del muelle en La Isla de la Roqueta; y en el último capítulo se darán las conclusiones y recomendaciones que se consideren pertinentes para su correcto funcionamiento.

## **Capítulo Uno**

### **Estudios Físicos**

## 1.1 Descripción General

En la concepción de cualquier proyecto, y por lo tanto, en los proyectos portuarios, juegan un papel muy importante diversas variables físicas que intervienen en el comportamiento de las estructuras a diseñar. Las principales de dichas variables, son el viento, las mareas, las corrientes, el oleaje y la conformación del fondo y subsuelo marinos, las cuales se describen a continuación:

## 1.2 Viento

Este término se aplica al movimiento de las masas de aire. Desde el punto de vista de la Ingeniería portuaria, el viento es la corriente horizontal de aire que circula con relativa proximidad a la superficie terrestre o acuática.

### 1.2.1 .- Caracterización

a) Dirección.- Para poder caracterizarla, se utiliza la denominada "Rosa de los Vientos", el cual es un limbo circular que normalmente puede estar dividido en 4, 8, 16 y 32 partes con el mismo rango angular.

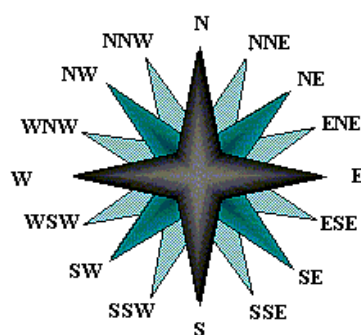


Fig. 1.1.- Rosa de los Vientos de 16 puntas.

b) Intensidad o velocidad.- Por tratarse de velocidad lineal, se expresa en unidades de longitud sobre las de tiempo (m/seg, km/hr, nudo); para su medición, generalmente se utiliza la escala internacional llamada de Beaufort (modificada), la cual se presenta en la tabla I.I.

**CAPÍTULO I: ESTUDIOS FÍSICOS**

Grado	Denominación	Velocidad en :				Efectos	Especiales	Altura de olas en metros
		Nudos	M/seg	Km/h	Millas T/h			
0	Calma	0-1	0-0,2	0-1	0-1	El humo sube verticalmente	Como un espejo, totalmente en calma	0,0
1	Ventolina	1-3	0,3-1,5	1-5	1-3	El humo se inclina	Rizos sin espuma. Olas pequeñas en forma de escamas	0,1
2	Flojito (brisa ligera)	4-6	1,6-3,3	6-11	4-7	Mueve hojas de árboles y banderas. El viento se siente en la cara. Los gallardetes comienzan a ondear	Ola pequeña: crestas cristalinas sin espuma	0,2
3	Flojo (brisa débil)	7-10	3,4-5,4	12-19	8-12	Agita hojas y ramas de árboles en constante movimiento. Los gallardetes ondean plenamente	Ola pequeña: crestas rompientes produciendo una espuma translúcida	0,6
4	Bonancible (brisa moderada)	11-16	5,5-7,9	20-28	13-18	Mueve las ramas. Polvareda. Se elevan los papeles ligeros. Ondeán las banderas.	Ola creciendo: las crestas presentan respones de espuma. Marejada pequeña.	1
5	Fresquito (brisa fresca)	17-21	8,0-10,7	29-38	19-24	Mueve arbustos. Se forman ondas en lagos y estanques. Levanta bastante polvo.	Olas medianas y de gran longitud: se generalizan los respones de espuma	2
6	Fresco (brisa fuerte)	22-27	10,8-13,8	39-49	25-31	Mueve ramas grandes y es muy difícil llevar abierto el paraguas. Silbar del viento en tendidos de líneas eléctricas	Olas grandes: frecuentes salpicaduras dejando gran cantidad de espuma. Se produce algo de rocío.	3
7	Frescachón (viento fuerte)	28-33	13,9-17,1	50-61	32-38	Mueve árboles y es difícil caminar contra el viento. Las banderas son arrancadas. Aparecen los primeros daños en tendidos de líneas eléctricas	Mar creciente: la espuma blanca, que proviene de las crestas, empieza a ser arrastrada en la dirección del viento formando nubarrones	4
8	Duro (viento tormentoso) (temporal)	34-40	17,2-20,7	62-74	39-46	Desgaja ramas y apenas se puede caminar al descubierto. Caídas de anuncios mal soportados	Olas alargadas: torbellinos de salpicaduras. La espuma forma líneas en dirección del viento	5,5
9	Muy duro (tormenta) (temporal fuerte)	41-47	20,8-24,4	75-88	47-54	Derriba chimeneas y arranca tejas y cubiertas. Rompe ramas gruesas de árboles.	Olas grandes: crestas rompen en rollos con gran estruendo. La superficie comienza a llenarse de espuma. El rocío comienza a dificultar la visibilidad.	7
10	Temporal (tormenta intensa) (temporal duro)	48-55	24,5-28,4	89-102	55-63	Desgarra ramas de árboles frondosos. Daños considerables en construcciones. Imposibilidad de mantenerse en pie y al descubierto.	Olas muy grandes: crestas en penacho; poca visibilidad debido al rocío. El mar presenta un color blanco debido a la espuma.	9
11	Borrasca (tormenta huracanada) (temporal muy duro)	56-64	28,5-32,6	103-117	64-72	Comienzan a ser arrastrados objetos pesados. Grandes destrozos en general	Olas altísimas. Gran estruendo de las olas al romper. Todo el mar espumoso. Disminución fuerte de la visibilidad.	11,5
12	Huracán	>64	>32,7	>118	>73	Arranca árboles de raíz y destruye construcciones de adobe y madera. Arrastra vehículos, daños graves y generalizados.	Aire lleno de espuma y rociones. La mar está completamente blanca, debido a los bancos de espuma. La visibilidad es muy reducida.	14

Tabla 1.1 Escala de Beaufort

Depresión Tropical: Circulación sensiblemente cerrada y centro bien definido; velocidad máxima del viento de 40 km/hr.

Tormenta Tropical: Forman nubosidades espesas y algunas perturbaciones se disipan al alcanzar esta clasificación; las velocidades aumentan, fluctuando entre 60 y 115 km/hr.

Ciclón ó Huracán: Alcanza velocidades superiores a los 115 km/hr.

### **1.2.2 Origen**

El viento se atribuye a las desigualdades de la presión atmosférica, es decir, a las presiones bajas y altas que llegan a presentarse de manera colindante. El calentamiento del aire provoca la dilatación, y consecuentemente, una tendencia al aumento de volumen, moviéndose en forma ascendente, lo cual deja un vacío o centro de baja presión barométrica. Este vacío se llena con el aire más denso que procede de otras regiones o lugares de alta presión, ocasionándose de esta forma el desplazamiento o movimiento horizontal de masas de aire

De acuerdo con su cobertura, los vientos se clasifican en: Generales o Planetarios y Locales.

Dentro los vientos generales se encuentran los vientos Alisios, Contralisios y Polares o vientos del oeste, etc.

En la capa atmosférica existen grandes masas de aire que se individualizan por temperatura, humedad y presión. No es exagerado decir que dos masas de aire diferentes, se comportan una respecto de la otra, como el aceite respecto al agua y no se mezclan.

En cada hemisferio existen dos masas de aire fundamentales: el aire tropical y el aire polar, subdivididas en aire marítimo y aire continental. Las distribuciones de viento y presión a gran escala, que persisten durante todo el año, se repiten

estacionalmente. Se denominan circulación general, y una de sus causas motrices principales es el desequilibrio de la radiación entre las latitudes bajas y altas.

De una manera esquemática diferenciamos los siguientes centros de acción que gobiernan la circulación general de la atmósfera:

- Una zona de bajas presiones ecuatoriales
- Dos zonas de altas presiones subtropicales hacia los 30 y 35 grados de latitud.
- Dos zonas de bajas presiones templadas.
- Dos casquetes de altas presiones polares.

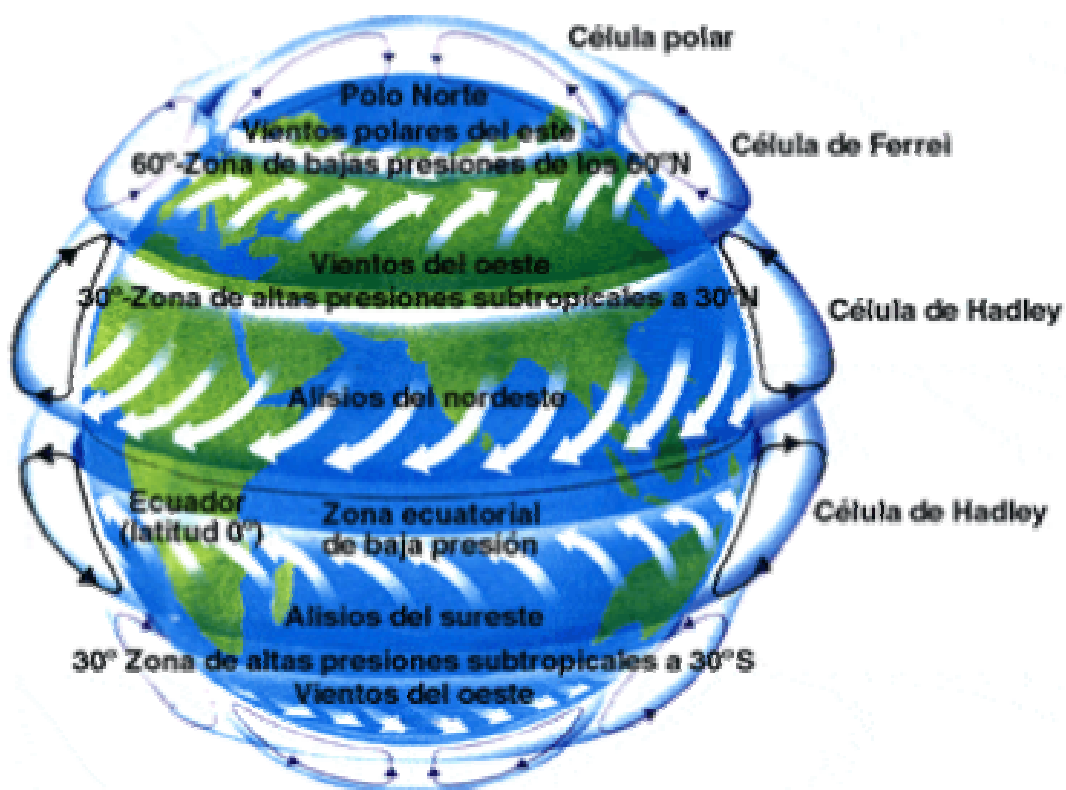


Figura 1.2.- Circulación general de la Atmósfera

A los vientos del Este de la zona intertropical (cinturón de baja presión que ciñe el globo terrestre en la región ecuatorial), se oponen los vientos del Oeste de las

regiones templadas. En las latitudes templadas, los vientos del Oeste soplan desde las altas presiones subtropicales, hacia las bajas presiones templadas. En las latitudes altas, las fuertes presiones polares engendran vientos del Este.

Entre los trópicos, los vientos alisios soplan desde las altas presiones subtropicales hacia las bajas presiones ecuatoriales. Desviados por el movimiento de rotación de la Tierra, se convierten en vientos del sector Este, que soplan generalmente del Nordeste hacia el Suroeste en el Hemisferio Norte y del Sudeste hacia el Noroeste en el Hemisferio Sur.

La teoría tradicional que explica el mecanismo de la circulación atmosférica es la denominada chimenea ecuatorial, cuyo fundamento estriba en la acción de calor ecuatorial: el aire cálido en el Ecuador se eleva y origina una zona de bajas presiones que atraen los vientos alisios.

En altura, el aire ecuatorial se acumula para dirigirse luego hacia las latitudes subtropicales, creando así una corriente de altitud (el contra-alisios) que al descender, origina las altas presiones subtropicales. Desde éstas últimas, el viento se escapa por una parte hacia el Ecuador (alisios), y por la otra, hacia las latitudes templadas (vientos del Oeste).

Otra teoría concede gran importancia a la convergencia de los alisios en ambos hemisferios. Gracias a los aviones, satélites y globos sonda, se ha comprobado, que los contra-alisios no tienen la amplitud ni la regularidad que se suponía; la ascensión del aire en la zona ecuatorial obedece, según esta nueva teoría, a la convergencia en esta zona de los vientos alisios procedentes de los dos hemisferios (convergencia o frente intertropical): el alisio del Hemisferio Norte corre al encuentro del Hemisferio Sur y viceversa, resultando un movimiento ascendente.

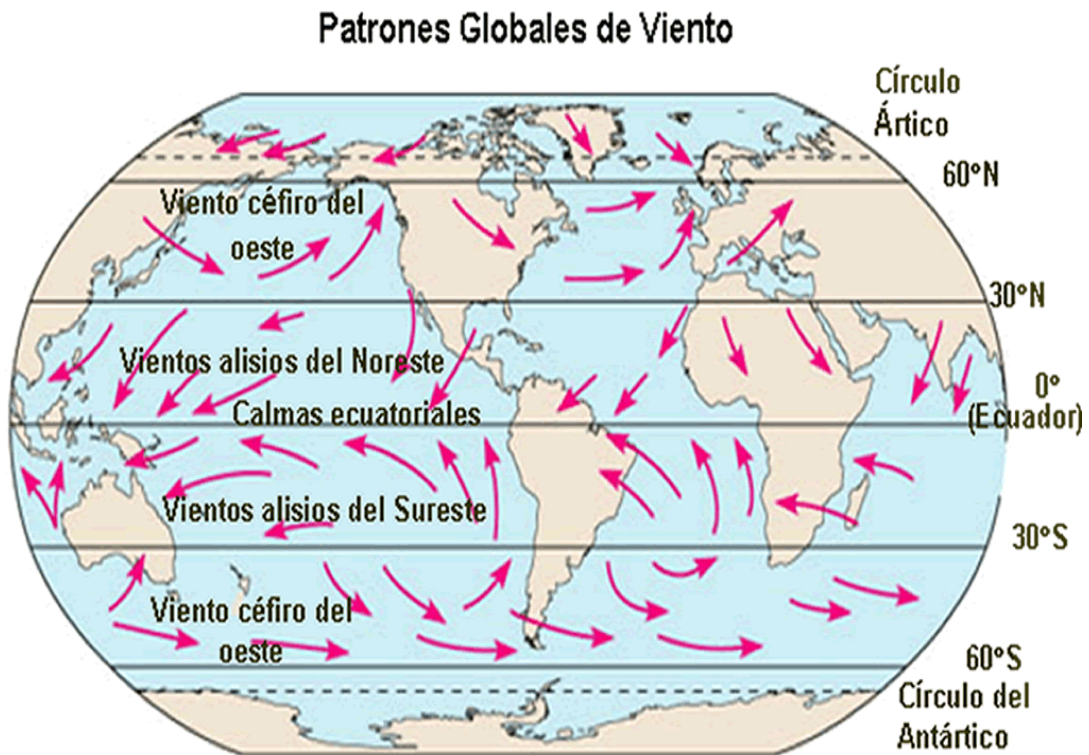


Figura 1.3.- Movimiento de masas de aire

### 1.2.3 Fuerzas Generadoras de Viento

Como se menciona anteriormente, los vientos se producen por diferencias de presión atmosférica, atribuidas a diferencias en la temperatura o densidad del aire, derivadas de las variaciones en la distribución, por lo general desigual, del calentamiento solar, en conjunto con las diferentes propiedades térmicas de las superficies terrestres y oceánicas. Cuando las temperaturas de regiones adyacentes difieren, el aire más caliente tiende a ascender y a soplar sobre el aire más frío y por tanto, más pesado. Los vientos generados de esta forma, suelen quedar muy perturbados por la rotación de la Tierra.

De lo anterior, se puede concluir que las fuerzas que intervienen en la producción y movimiento de los vientos, son:

- a) Presión
- b) Fricción
- c) Centrifuga
- d) Coriolis

**a) Fuerza de presión:** Se origina debido al gradiente de presión que representa una fuerza real, dando origen al denominado "viento geostrófico", de donde se deriva:

$$F_p = \frac{\Delta P}{L\rho_a} \dots\dots\dots(1)$$

En donde:

$\Delta P$ : la diferencia de presiones en las líneas de igual presión (isobaras) consideradas

$L$ : la separación entre isobaras

$\rho_a$ : la densidad del aire

**b) Fuerza de fricción:** Actúa directamente sobre el viento, reduciendo su velocidad al chocar con los distintos cuerpos que se ubican en su curso. El viento, al entrar en contacto con la superficie de la tierra, sufre una desviación en su trayectoria, normalmente entre 40° y 45°, mientras que en el agua es sólo de 10° a 15°. Esto ocasiona que el viento circule con cierta inclinación con respecto a las isobaras:

$$F_f = \mu W \dots\dots\dots(2)$$

En donde:

$\mu$  el coeficiente de fricción

$W$  el peso de la masa de aire

**c) Fuerza centrífuga:** Debido a la forma de la tierra, los vientos describen trayectorias curvas, por lo que se encuentran sometidos a dos fuerzas opuestas con

respecto a su sentido: la centrípeta (del exterior al centro de rotación de la tierra) y la centrífuga que trata de sacar al cuerpo de su orbita.

$$F_c = \frac{mv}{R} \dots\dots\dots(3)$$

En donde:

- m: la masa de aire
- v: la velocidad tangencial de las partículas
- R: el radio de curvatura de la Tierra

**d) Fuerza de Coriolis:** Se genera por la velocidad de la rotación de la Tierra y es por ella que las partículas sufren desviaciones en su trayectoria, formándose una curva cerrada llamada curva de inercia:

$$F_{cr} = 2\Omega v \sin \Phi \dots\dots\dots(4)$$

En donde:

- $\Omega$ : la velocidad angular de rotación de la tierra =  $7.29 \cdot 10^{-5}$  rad/seg
- v: la velocidad del viento
- $\Phi$ : los grados de latitud del plano analizado

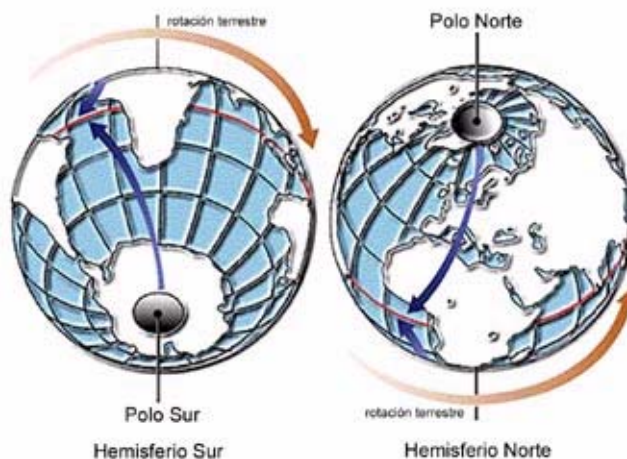


Fig. 1.4.- Esquema de Fenómeno de Coriolis

Finalmente si las isobaras son rectas y paralelas, se dice que se trata de un viento geostrófico, el cual se ve influenciado por la fuerza de presión y la fuerza de coriolis; para su cálculo se utiliza la siguiente expresión:

$$V_g = \frac{1}{2\rho \cdot f} \cdot \frac{\Delta p}{\Delta n} \dots\dots\dots 1.456$$

En donde:

- $V_g$  : Velocidad del viento geostrófico (nudos)
- $\rho$  : Densidad del aire igual a  $1.247 \times 10^{-3}$  gm/cm<sup>3</sup>
- $f$  : Parámetro de coriolis igual a  $2\omega \text{sen}\phi$
- $\frac{\Delta p}{\Delta n}$  : Gradiente horizontal de presiones
- $\omega$  : Velocidad angular de la tierra igual a 0.2625 rad/hora

Por su parte el viento real "V", es función de las cuatro fuerzas antes mencionadas y se relaciona con el viento geostrófico de la siguiente forma:

$$V = C \cdot V_g$$

en donde "C" es un parámetro de corrección que depende de la diferencia de temperaturas entre el agua de mar y el aire, dándose sus valores en la siguiente tabla:

<b>VIENTO REAL</b>	
Tw-Ta	C
0 ó negativo	0.60
0 - 10	0.65
10 - 20	0.75
20 ó mayor	0.90
Tw: temperatura del agua de mar Ta: temperatura del aire	
Nota: en cálculos prácticos se utiliza un valor de C cercano a 0.60	

Tabla 1.2.- Valores del Fenómeno de Coriolis

### 1.2.4 Diagrama de Lenz

Los diagramas de Lenz son representaciones vectoriales de las características que definen al viento, los cuales se grafican comúnmente en "rosas de viento" de 16 direcciones. La información que se plasma en dichos diagramas, puede ser representativa de regímenes mensual, trimestral y anual o de un período mayor de observación, para un determinado sitio.

Tradicionalmente estos diagramas se grafican de tres formas diferentes:

- Diagramas de frecuencia o de "n":

Este representa el número de veces (n), con que el viento incide de cierta dirección. Al viento que sopla con mayor frecuencia se le denomina "viento reinante".

- Diagrama de velocidad media "nv":

Se grafican en este diagrama los productos de las frecuencias, por las velocidades medias de presentación; se le conoce también como diagrama de agitación.

- Diagrama de velocidad máxima cuadrática " $V_{max}^2$ ":

Contempla los datos concernientes al cuadrado de la velocidad máxima de representación; al viento que sopla con mayor intensidad se le llama "viento dominante".

Por tratarse de análisis probabilísticas y estadísticos, la confiabilidad de los resultados de los datos de viento que se expresen, dependerá del período de información continua que se encuentre disponible. Por ello, es conveniente, contar con una muestra estadística continua del mayor número de años posibles, lo cual puede ser obtenido de diversas fuentes confiables de nuestro país, como son los siguientes organismos: Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y Servicios Especiales a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano (SENEAM).

RESUMEN DE DATOS DE VIENTO

No. DE CALMAS: 2,750

DIRECCIÓN VARIABLE	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
n	106.00	145.00	384.00	218.00	114.00	136.00	370.00	214.00	12.00	3.00	8.00	49.00	1067.00	1210.00	87.00	29.00
nv	151.40	144.00	474.00	302.20	382.50	510.30	1604.00	970.00	37.00	4.00	19.10	178.70	5108.10	5306.30	217.80	45.80
V <sub>max</sub>	14.00	5.80	7.20	7.00	18.50	17.00	21.00	20.00	11.00	4.00	5.00	47.00	19.00	18.40	13.00	9.00
V <sup>2</sup> <sub>max</sub>	196.00	33.64	51.84	49.00	342.25	289.00	441.00	400.00	121.00	16.00	25.00	2209.00	361.00	338.52	169.00	81.00

NOTAS: El periodo de observación es de 5 años  
La velocidad del viento está en m/s

Tabla 1.3.- Ejemplo de datos para elaboración de diagramas de Lenz

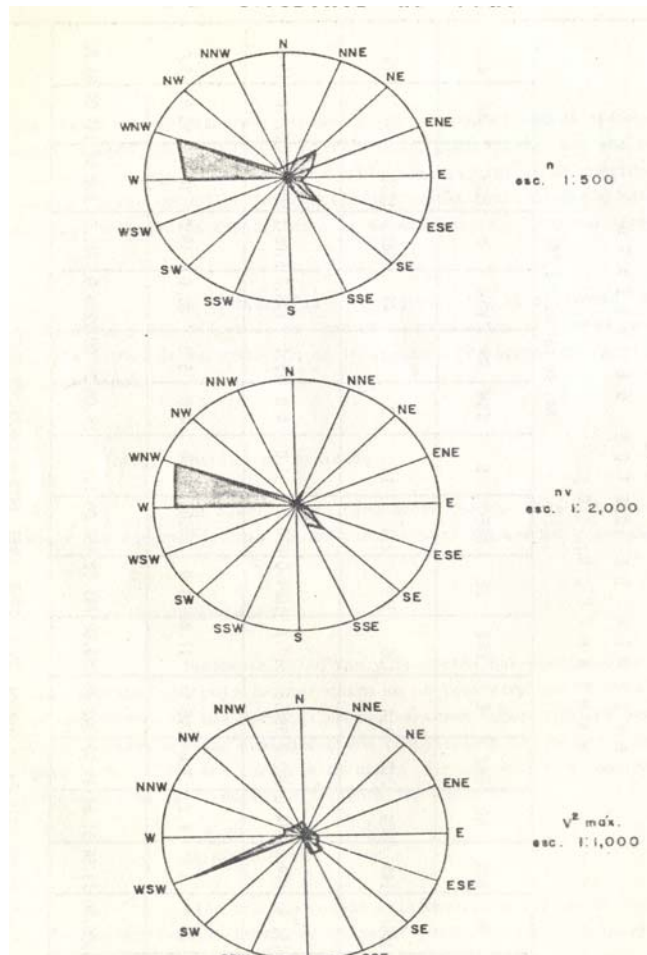


Figura 1.5.- Diagramas de Lenz según el resumen de datos de viento del ejemplo de la tabla 1.3

### **1.3 .- Mareas.**

Se define como marea al ascenso y descenso periódico de las aguas oceánicas, incluyendo las del mar abierto, los golfos y las bahías, como resultado principalmente de la atracción gravitatoria de la Luna y del Sol sobre el agua, combinados con los movimientos de rotación y traslación de la Tierra. Su intensidad está en relación directa con las posiciones relativas de ambos astros, respecto de la Tierra. A este tipo de mareas, se le conoce como marea astronómica.

Varias culturas se desarrollaron en zonas costeras, gracias a la oportunidad de obtener productos del mar, aprovechando la marea baja en el caso de las culturas muy primitivas que no conocían las embarcaciones, al dejarles peces y otras especies atrapados y al descubierto. Aún los pueblos que ya contaban con embarcaciones, ante la imposibilidad de realizar dragados, tenían que regirse por la marea para entrar y salir de los puertos.

Las mareas tienen considerable importancia en la navegación, por las corrientes y cambios de nivel que afectan los movimientos y en algunos casos, determinan el horario de las maniobras de las embarcaciones.

Otras fuerzas que producen cambios en el nivel del mar son las condiciones meteorológicas extremas, originando las llamadas mareas meteorológicas o mareas de tormenta.

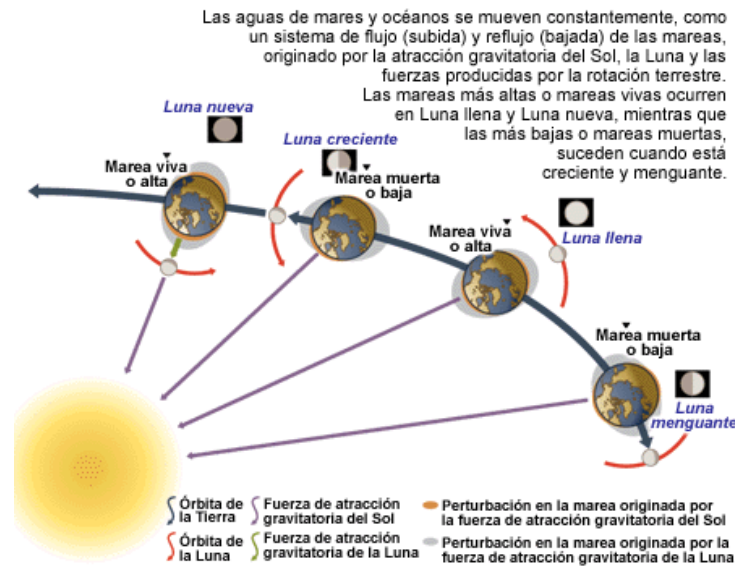


Figura 1.6.- Breve explicación de los tipos de mareas astronómicas

### 1.3.1 .- Mareas astronómicas

Como se dijo anteriormente, en el caso de las mareas astronómicas, las fuerzas que tienen importancia son las de gravitación de la luna y el sol, la fuerza centrífuga debida al movimiento de la tierra en su órbita alrededor del sol, la fuerza de Coriolis, producida por la rotación de la Tierra en su eje, así como la fuerza de fricción ocasionada por el movimiento de las masas de agua. La fuerza gravitacional de otros astros es despreciable. Normalmente existen dos niveles altos y dos niveles bajos en cada intervalo de día lunar.

Por ser el día lunar aproximadamente 50 minutos más largo que el día solar, se puede decir que el período ondulatorio es de 12.25 horas, produciéndose por ello los máximos niveles cada 50 minutos.

Existen varias teorías sobre la forma y dinámica de las mareas (Newton, Laplace, Harris, Walburg), que han sido aprovechadas para elaborar diversos métodos de predicción (Defant, Ippen, etc).

Al observarse el nivel del mar, se aprecia un movimiento rítmico de ascenso y descenso alternado; al subir, llenante, llegará a un máximo de altura conocido como pleamar; después bajará, vaciante, llegando a un mínimo nombrado como bajamar, reproduciendo de nuevo la oscilación. La posición media de las oscilaciones en 29.53 días es llamada nivel de media marea. Hay que hacer notar que el nivel de media marea varía a través de los años. La diferencia entre los niveles alcanzados en una oscilación, se llama amplitud. En forma práctica se ha tomado el promedio de los niveles de media marea de 19 años, correspondientes a un ciclo lunar, como el valor al cual se le llama nivel medio del mar.

Los principales niveles de referencia son:

- **Nivel Medio del Mar (NMM):** Es el nivel promedio de los datos de nivel del mar durante el periodo de mediciones.
- **Nivel Bajamar Media Inferior (NBMI):** Es el nivel promedio de las bajamares más grandes en el día, durante el periodo de mediciones.
- **Nivel Bajamar Media (NBM):** Es el nivel promedio de las bajamares en el día, durante el periodo de mediciones
- **Nivel de Media Marea (NMM):** Es el promedio de Bajamares y Pleamares durante el periodo de mediciones.
- **Nivel de Pleamar Media (NPM):** Es el nivel promedio de las pleamares en el día, durante el periodo de mediciones.

- **Nivel de Pleamar Media Superior (NPMS):** Es el nivel promedio de las pleamares más grandes en el día, durante el periodo de mediciones.
- **Cero de la regla:** Es un plano imaginario, por debajo del nivel más bajo de la marea. Este plano está ligado directamente al banco de nivel primario en la estación mareográfica.

Para calcular estos niveles, excepto el "Cero de la regla", se toman los máximos y mínimos debidos a la marea y a partir de los datos, mes con mes se clasifican los valores capturados en promedio, pleamares y bajamares máximas y mínimas de cada día, obteniéndose un promedio mensual. Los valores mensuales se tabulan y posteriormente se sacan promedios anuales y finalmente, cuando la duración de las series de tiempo lo permite, cada 19 años.

### **1.3.2 .- Marea de tormenta**

La marea de tormenta se define como el aumento o disminución del nivel del agua, arriba o abajo del nivel esperado, debido a la acción del esfuerzo tangencial del viento sobre la superficie del agua.

Las mareas de tormenta suelen ser muy importantes en áreas costeras sujetas a vientos ciclónicos, ya que pueden causar importantes aumentos o disminuciones de los niveles del agua, por lo que para el caso de algunos proyectos específicos, es de vital importancia tomar en cuenta su efecto. En el caso de marea de tormenta positiva (aumento), el viento sopla contra la costa considerada y en el caso contrario (disminución), el viento sopla en la dirección opuesta, como se muestra en la siguiente figura.

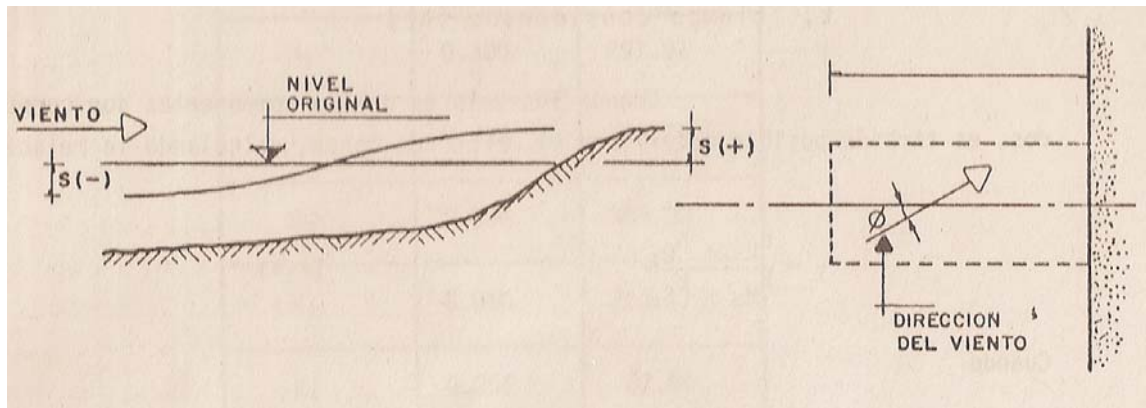


Figura 1.7.- Esquema de mareas de tormenta

Una forma simple de calcular la marea de tormenta en el caso de dársenas o mares muy limitados, es mediante la siguiente formula:

$$S = \frac{CVF \cos \Phi}{h} \dots\dots\dots(5)$$

En donde:

S es la marea de tormenta o sobre elevación

C es un coeficiente cuyo valor se puede tomar de  $0.4 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{m}$

V es la velocidad del viento a 6 metros arriba del nivel del mar (m/s)

F fetch o longitud del área de mar sobre la cual el viento esta soplando (m)

$\Phi$  ángulo entre la dirección del viento y la línea centro o eje de el área considerada.

h profundidad promedio del área considerada medida normalmente a lo largo del eje del fetch (m).

El efecto de la marea resultante (astronómica o de tormenta), puede ser obtenido por la suma o superposición lineal de los niveles de cada una de ellas. Los cálculos de la sobre elevación S, pueden ser difíciles, debido a que normalmente se carece de datos, pero cuando se dispone de registros de niveles de agua, es posible determinar estos efectos de la marea de tormenta en esa área, mediante la resta de los niveles generados por la marea astronómica.

## **1.4 .- Corrientes**

Las corrientes son movimientos de masas de agua de mar, pudiendo ser o no periódicos, que se pueden dar en distintas profundidades. Pueden ser generadas por diversas acciones, como el viento sobre la superficie del agua, la diferencia en densidades de la masa líquida, la sobre elevación del nivel medio, debido a mareas y la topografía de la costa, entre otras. Los principales parámetros que definen a las corrientes, son la dirección y la velocidad.

### **1.4.1 .- Corrientes oceánicas**

Las causas que generan las corrientes oceánicas son esencialmente el viento y el gradiente.

El viento como elemento generador, opera por efecto del arrastre de las partículas superficiales, las cuales a su vez por rozamiento, actúan sobre las moléculas más profundas, según sea la intensidad y persistencia del viento y también dependiendo de que haya o no elementos que se opongan al movimiento del flujo de aguas. Por lo tanto, este tipo de corrientes en general, son prácticamente superficiales y de poca

intensidad. Las corrientes coinciden en dirección, con los vientos generales o planetarios, y tienen una dirección más o menos constante en el transcurso del año.

El gradiente como elemento productor de las corrientes, está determinado por las diferencias de densidad de las masas de agua, en función de la temperatura y la salinidad. Es por ello que algunas corrientes presentan componentes en el plano vertical, lo cual implica el movimiento de masas de agua de uno a otro plano potencial o estrato.

Una serie de elementos circunstanciales influye en el comportamiento de las corrientes, cualquiera que sea su origen. La configuración litoral y la topográfica del fondo, son dos de estos elementos. Así mismo, influye la inercia de la propia corriente, una vez generada.

La aportación de agua dulce puede ser también un elemento característico de un esquema de corrientes, tratándose de las que involucran una gran cantidad de masa de agua de este tipo; la fuerza de Coriolis es otro agente que define su comportamiento.

En relación con la temperatura del agua, las corrientes se clasifican como calientes y frías y su importancia fundamental radica en el hecho de que determinan comportamientos principalmente de orden biológico y en ocasiones, variaciones climatológicas a nivel global.

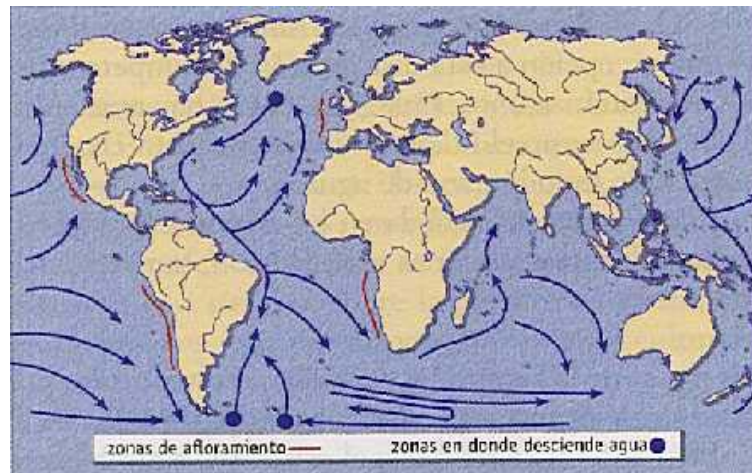


Figura 1.8.- Esquema de corrientes oceánicas

### 1.4.2 .- Corrientes producidas por oleaje

La importancia de las corrientes producidas por oleaje, radica fundamentalmente en el hecho de que son las que originan y regulan, en su mayor parte, el movimiento los materiales costeros. A este fenómeno se le conoce como transporte de litoral.

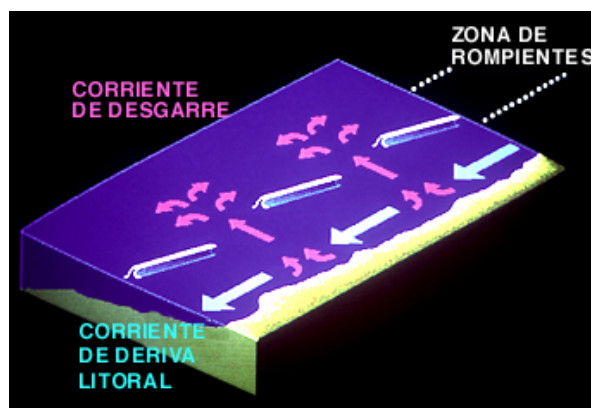


Figura 1.9 Corrientes producidas por oleaje

En función de la dirección de su movimiento, estas corrientes se clasifican en dos tipos:

## Corrientes normales a la costa

Son generadas por la necesidad de evacuación del volumen de agua sobrante que ha sido empujado y acumulado contra la playa en el estrán, debido a la acción del oleaje y del viento; este exceso de volúmenes se manifiesta con una sobre elevación del nivel del mar en la zona de rompientes.

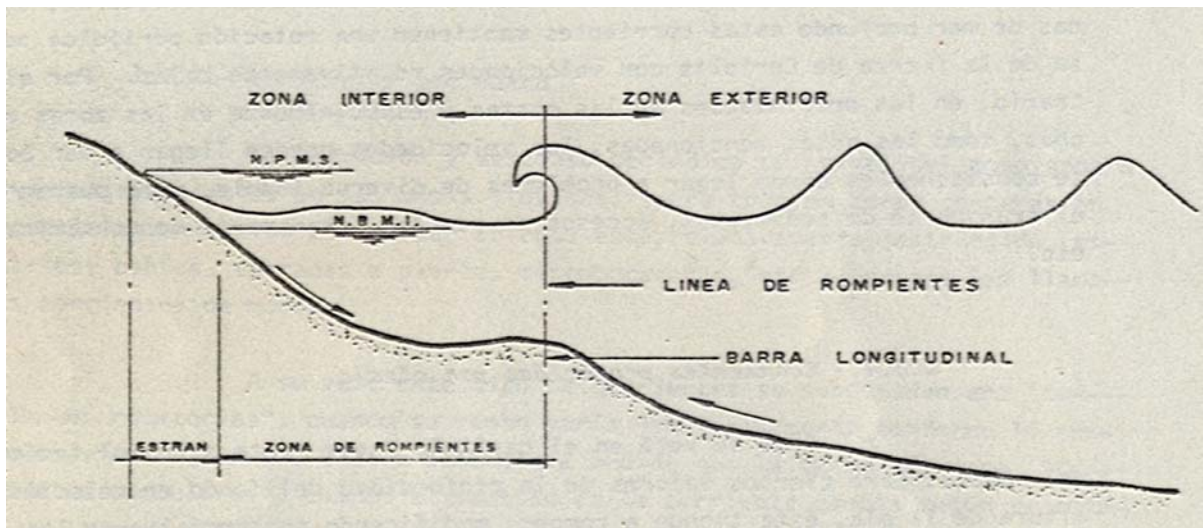


Figura 1.10.- Esquema de corrientes normales a la costa

Este tipo de corrientes se puede subdividir en dos:

La primera se denomina resaca y se manifiesta como un flujo difuso que inicia en el estrán, desplazándose próximo al fondo, hacia mar adentro, desapareciendo a la altura de la rompiente.

La segunda forma se denomina corriente de retorno y se representa en forma de chorro concentrado, atravesando la línea de rompientes.

Las corrientes de retorno presentan una gran dificultad para su análisis, dada su movilidad y los múltiples parámetros que en ellas intervienen, como son la topografía del fondo y la interacción entre las olas y las corrientes.

### 1.4.3 Corrientes paralelas a la costa

También llamadas corrientes litorales actúan muy cercanas a la línea costera. Lo más común en las playas, es que el oleaje incide en ellas formando un ángulo oblicuo con estas, bien sea debido a la refracción que sufre en su acercamiento o por la dirección con que fue generado. Por lo anterior, se forma una corriente paralela a la costa localizada entre la línea de rompientes y la orilla.

Dichas corriente son la causa principal del transporte litoral a lo largo de la costa, una vez que los sedimentos han sido puestos en suspensión en la rotura de la ola. Es muy importante para la ingeniería de costas conocer datos a este respecto cuantitativa y cualitativamente, por lo que se han desarrollado diversas expresiones y algoritmos matemáticos para su cálculo.

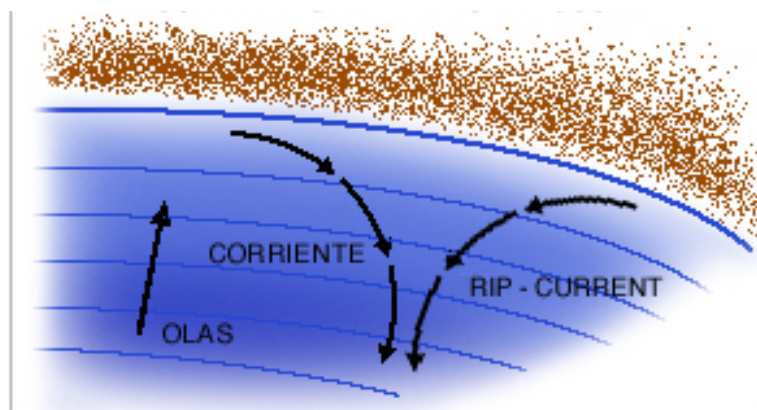


Fig. 1.11.- Esquema de corrientes paralelas a la costa

#### **1.4.4 Corrientes por marea**

Las variaciones periódicas en la elevación de la superficie libre del agua generan movimientos notables en las masas líquidas. En zonas costeras, en donde la comunicación con el mar abierto esta relativamente restringida, como en estuarios, bahías, entradas a puerto, desembocaduras, etc., es más notoria la presencia de las llamadas corrientes de marea.

Este tipo de corrientes se subdivide en: a) corrientes rotatorias, cuando su rumbo varia escalonadamente conforme la rosa de los vientos en uno u otro sentido, a medida que la marea progresa; b) corrientes pendulares, cuando el sentido de la corriente cambia, según el estado de la marea y c) corrientes hidráulicas, cuando están afectadas por el efecto de almacenamiento temporal de las aguas, producido por una configuración especial de la costa.

La característica primordial de este tipo de corrientes es su periodicidad, la cual puede ser diurna, semidiurna y mixta, según sea la marea astronómica. En las entradas donde la corriente de una marea fluye en dos sentidos, cuando esta creciendo hacia la zona interna (flujo) y cuando esta descendiendo hacia mar adentro (reflujo), las velocidades máximas obtenidas en estas zonas, normalmente están desfasadas respecto a los momentos de presentación de las pleamares o bajamares. A este efecto de defasamiento, se le conoce con el nombre amortiguamiento.

Las características de las corrientes de marea cambian de un lugar a otro, dependiendo en primer término del carácter de la marea y en función también de la profundidad y configuración del terreno donde se desarrolla.

Los efectos producidos por las corrientes de marea interesan al ingeniero para proyectos u obras en zonas inmediatas al litoral; en zonas de mar profundo, estas corrientes mantienen una rotación periódica por causa de la fuerza de Coriolis, con velocidades relativamente bajas. Por el contrario, en las proximidades de las costas y

especialmente en las zonas estrechas, como las antes mencionadas, las velocidades pueden llegar a ser de magnitud considerable, dando lugar a problemas de diversa índole, como puede ser el traslado de sedimentos a los accesos de puertos, transporte de contaminantes, etc.

## **1.5 .- Oleaje.**

Se conoce como oleaje, a la sucesión de ondas que son formadas en la superficie de las aguas, formada por la acción del viento sobre la superficie en reposo. El viento que genera el oleaje, se encuentra bajo un régimen turbulento con una velocidad media denominada  $\bar{u}$ . Dicha velocidad cambia en magnitud y dirección, lo que ocasionará fluctuaciones en las características de las olas.

Para la determinación de sus características, el oleaje se puede clasificar en normal y extraordinario.

### **1.5.1 Oleaje normal.**

Al analizar estadísticamente al oleaje, se busca el comportamiento que se define con el porcentaje del tiempo en que la altura de la ola no excede a un cierto valor.

Para ello, es necesario contar con datos representativos de las observaciones puntuales realizadas en el lugar de interés.

Si la información recabada dispone de las direcciones del oleaje, el régimen de oleaje así definido será direccional y no meramente escalar.

En este sentido, al igual que en cualquier análisis estadístico, la factibilidad del análisis de las distintas fuentes de información estadística, depende de la amplitud de la muestra, es decir del número de observaciones realizadas y de su confiabilidad.

En caso de que no exista información del punto de interés, es posible recurrir a fuentes estadísticas como el "Atlas of Sea and Swell", publicado por la U.S. Naval Oceanographic Office, el cual presenta las estadísticas de observaciones realizadas por buques de líneas regulares y otros pertenecientes a la marina, en diferentes zonas delimitadas para estos propósitos.

En lo que respecta a la formación del oleaje, el que se localicen en la zona donde directamente actúa el viento que lo genera, se denomina Sea y su topología presenta ondas con periodos cortos, direcciones múltiples, peraltes grandes y con un aspecto general caótico. Por el contrario, el oleaje de tipo Swell es aquel que ha salido del área de influencia del viento y presenta, por lo general, periodos mayores, así como crestas largas y con dirección definida de avance.

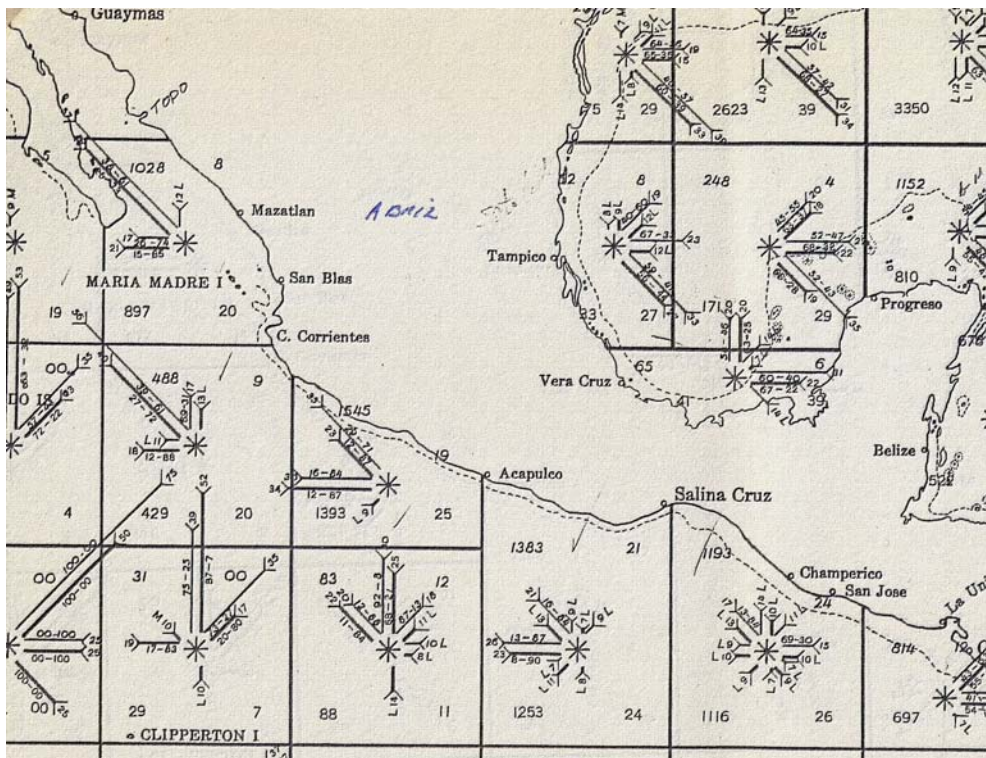


Figura. 1.12.- Carta de Sea and Swell en la Republica. Mexicana

Para poder comprender mejor este fenómeno, es necesario hacer las siguientes consideraciones:

- Las ondas tienen una forma convexa hacia la superficie que se eleva sobre el nivel de reposo del mar, y se le denomina "cresta", ésta es seguida de una concavidad, hacia abajo del nivel medio, el cual es llamado "valle".
- La distancia entre dos crestas o dos valles consecutivos, se conoce como longitud de onda y queda representado por la letra  $L$  ó  $\lambda$ .
- El desnivel definido por la diferencia de altura entre la cresta y el valle, se llama "altura de ola", con notación  $H$ .
- Al tiempo que transcurre entre el paso de dos crestas o valles consecutivos, se le denomina "período" y se representa por  $T$ .
- La distancia vertical entre el lecho oceánico y la superficie del mar en reposo se conoce como "profundidad", denotada por la letra  $d$ .
- La relación entre la altura de ola y la longitud de ola se conoce como "Peralte".
- El nivel del mar antes de iniciarse el movimiento es el "nivel medio en reposo" (N.M.R) y la línea horizontal equidistante entre crestas y valles es el "nivel medio en movimiento" (N.M.M).
- La diferencia de altura entre ambos niveles se conoce como "sobre elevación". Por último, se tiene, el subíndice "o", el cual al añadirse a estas variables, indica la referencia a un punto en mar profundo, mientras que un subíndice de cualquier tipo, indica un punto relacionado a otra profundidad.

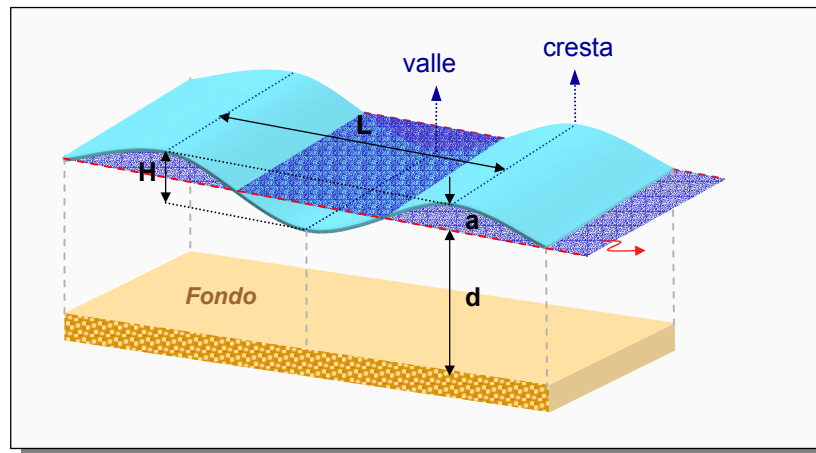


Figura 1.13.- Esquema de constitución de una onda

Existen diversos tipos de ondas. Se definen dos clasificaciones básicas con base en el tipo de movimiento de las partículas del líquido y respecto al período.

De acuerdo con el tipo de movimiento de las partículas del líquido, las olas se pueden dividir en:

- a) Oscilatorias: cuando describen órbitas cerradas.
- b) Cuasi-oscilatorias: cuando las órbitas descritas no son cerradas, produciendo un ligero movimiento neto en algún sentido.
- c) De traslación: cuando el movimiento neto de la partícula define mayormente una traslación.

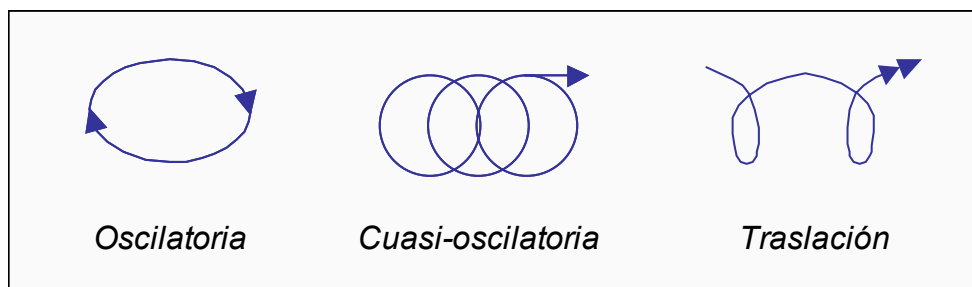


Figura 1.14.- Movimiento de las partículas

Existen diversas teorías para el estudio y caracterización de los fenómenos que se presentan en el oleaje, cuya descripción escapa al alcance de este trabajo.

### **1.5.2 .- Oleaje extraordinario**

El régimen de oleaje extraordinario o ciclónico, es una función de distribución de los valores extremos de alturas de ola. Esta función extrema indica la probabilidad de que un valor considerado de altura de ola, ligada a un temporal, no sea superado en un período de tiempo determinado.

El interés que tiene el conocimiento de esta función es fundamental en el caso del diseño de obras marítimas, ya que con ella se puede valorar el parámetro que determine la altura de ola de diseño. La elección de un valor determinado del mismo, ira ligado a una probabilidad de presentación y consecutivamente, a un riesgo definido en vida probable.

El cálculo práctico del régimen de oleaje extraordinario para un punto o zona de predicción se puede abordar de distintas formas, los cuales dependen fundamentalmente del tipo y calidad de los datos de oleaje de que se disponga. Dichos métodos de calculo pueden clasificarse en dos grupos.

a) Utilización de una distribución de probabilidad conocida, para el tratamiento de valores extremos anuales.

b) Aplicación de la ecuación extremal, a partir del régimen de oleaje normal y del número de extremos.

Por otro lado, las fluctuaciones darán origen a cambios de tensión (presión y esfuerzo cortante) en la superficie del líquido, lo que ocasionará ondas circulares que se propagan desde el punto de su generación, los cuales se identifican como remolinos de turbulencia. El tamaño de los remolinos dependerá de la velocidad del viento, lo cual trae como consecuencia que la fluctuación de tensión abarcará una amplia gama de frecuencias y de números de onda. Los remolinos son transportados por la acción del viento, de tal manera que en casos extremos si la velocidad del viento coincide con la celeridad de la onda al igual que en los períodos, se producirá una resonancia que provocará que la energía de la onda se incremente.

## **1.6.- Conformación del fondo marino**

La caracterización del relieve marino tiene la función de proporcionar información acerca de la profundidad y forma que definen el suelo marino. Esto aunado a la mecánica de suelos, que permite conocer los tipos de material del que esta conformado., es de utilidad para proponer alternativas que lleven a la elección de la subestructura adecuada para cubrir las necesidades del proyecto.

### **1.6.1 Levantamiento batimétrico**

El objetivo principal de estos trabajos es conocer la configuración del fondo marino del sitio de interés, definiendo la forma y las profundidades. Un ejemplo de equipo que puede utilizarse para esta tarea esta conformado por:

- Ecosonda digital equipada con transductor.
- Módulo GPS Base.
- Radio transmisor.

- Módulo GPS Móvil.
- Radio receptor.
- Computadora portátil.
- Interfase de comunicación.

La forma de llevar a cabo estos levantamientos consiste en una metodología como la que a continuación se describe:

#### **a) Determinación de bancos de nivel**

Los bancos de nivel son puntos conocidos dentro o muy cerca de la zona de levantamiento, los cuales están referidos a un sistema coordinado estandarizado, como el Sistema Universe Transverse de Mercator (UTM) o el Geodésico, los cuales son reconocidos por instituciones encargadas de manejar la información geográfica de cada país como es el caso del INEGI o de la Secretaría de Marina.

Existen casos en los que los bancos de nivel están muy retirados de la zona de trabajo, en esta situación lo más adecuado para tener una referencia confiable, es colocar un punto de apoyo cercano al lugar de trabajo referido a un banco de nivel conocido.

#### **b) Configuración del sitio para apoyo topográfico**

Este procedimiento consiste en el levantamiento de puntos y referencias del sitio de estudio. Tales referencias pueden ser vialidades, muelles, edificios y en general las estructuras de más importancia, hasta definir la forma y las instalaciones que conforman el lugar.

Una forma práctica para hacer estos trabajos es la utilización de sistemas GPS, los cuales proporcionan posicionamiento en el sistema coordinado más conveniente; con un porcentaje de error mínimo.

### c) Programación de rutas de navegación

Se utiliza software hidrográfico especializado como puede ser el HydroPro o Hypack, que son los más distribuidos comercialmente para este tipo de trabajos. Estos programas permiten la recolección de datos de GPS y ecosonda para crear un archivo con puntos tridimensionales que proporcionan la posición y profundidad en una zona de interés. Dependiendo del tipo de levantamiento que se requiera las rutas de navegación son programados para tomar datos que satisfagan las expectativas del trabajo. Un ejemplo de toma de esta recolección puede ser a cada 2 segundos y velocidad de la embarcación de 1.5 m/s, que se utiliza en algunos levantamientos batimétricos. Para poder efectuar el levantamiento es necesario introducir al programa la configuración del lugar de estudio; alimentando la información en un sistema coordinado, respecto a la forma del lugar. A lo anterior, se le añade un eje que servirá de referencia para ubicar los seccionamientos y obtener el trazo correcto en campo.

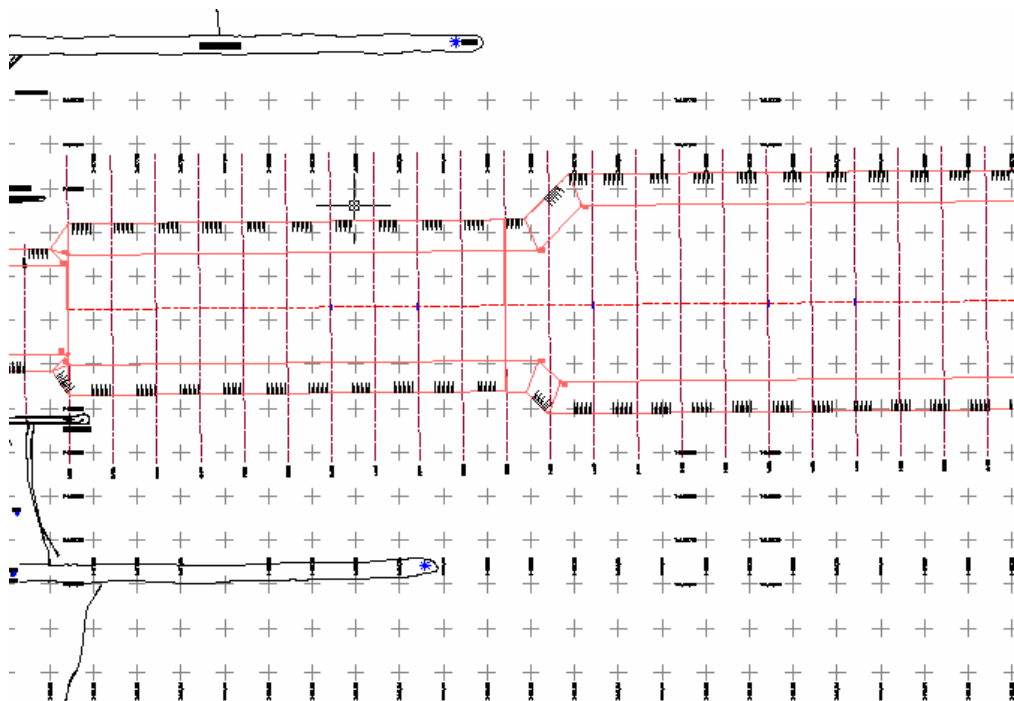


Figura 1.15.- Programación de rutas de navegación mediante un archivo DXF de AutoCAD

### **f) Calibración de Ecosonda**

La ecosonda es un aparato electrónico cuyo principio de funcionamiento es el mismo que utiliza el Sonar (acrónimo de Sound Navigation And Ranging). Básicamente, se trata de un sistema de navegación y localización, similar al radar, pero que en lugar de emitir, como este, señales de radiofrecuencia, emite impulsos ultrasónicos. Se emplea principalmente en la navegación submarina, ya que bajo el agua no se propagan las ondas radioeléctricas.

El Sonar se utiliza en el mar en la detección de objetos sumergidos: submarinos, minas, barcos hundidos, cardúmenes, etc. También es utilizado en metalurgia y en múltiples aplicaciones en la medicina, como las ecografías.

Los impulsos ultrasónicos de la ecosonda se calibran mediante el método de simulación de fondo que consiste en sumergir en el agua un plato con superficie plana, llamado escandallo. Este plato está atado a un cable graduado, generalmente a cada metro; y es sumergido a una profundidad conocida. Ahí son enviados los impulsos ultrasónicos, y dado que es conocida la profundidad entonces se ajusta la señal del impulso hasta que registre la profundidad real. Además se debe considerar que la velocidad de la señal también es afectada ligeramente por la temperatura y salinidad del agua.

Este procedimiento, se realiza al comenzar y al finalizar el trabajo para corroborar que el instrumento no haya sufrido algún desajuste. Esta se realiza preferentemente donde la influencia del oleaje o la corriente no hagan oscilar demasiado la embarcación.

### **g) Lectura de regla de mareas**

Como se ha visto antes, la marea es el cambio periódico de nivel del mar, por lo que para obtener resultados correctos con respecto a las profundidades recabadas en el trabajo de batimetría, es necesario considerar estos cambios. Estos datos se obtienen al mismo tiempo que se hace la batimetría mediante la toma de medidas en un punto de referencia conocido como regla de mareas.

En este lugar se coloca una regla graduada donde se puede medir mediante observación el cambio en el nivel del mar. En México los niveles de referencia se denominan: Nivel de Bajamar Media (NBM); si el levantamiento se hace en las costas del Golfo de México, o el Nivel de Bajamar Media Inferior (NBMI); si el levantamiento se hace en las costas del Océano Pacífico.

Las lecturas de marea, se toman dentro de un intervalo de tiempo que se considere cambia el nivel del mar, esto en forma manual y el resultado se anota en una tabla como la que se muestra a continuación. En esta tabla se deben incluir el punto donde se tomo la lectura, su ubicación en coordenadas UTM, la fecha, la hora de cada lectura y su correspondiente variación con respecto al nivel referido.

UBICACIÓN: Muelle de Fertimex		
Nivel de Bajamar Media NBM		
LOCALIZACIÓN UTM: 350659.30 m E, 2006489.50 m N		
Horario: Local		
Fecha	Hora	Marea
10/10/2003	08:40	0.545 m
10/10/2003	08:50	0.535 m
10/10/2003	09:00.	0.525 m
10/10/2003	09:10	0.525 m
10/10/2003	09:20	0.525 m
10/10/2003	09:30.	0.535 m
10/10/2003	09:40.	0.535 m
10/10/2003	09:50	0.535 m
10/10/2003	10:00.	0.545 m
10/10/2003	10:10	0.535 m

Tabla. 1.4.- Medición de marea durante un levantamiento batimétrico

También existe equipo para la medición de mareas, tal es el caso del mareógrafo. Existen dos tipos de instrumentos de medición. El primero conocido como mareógrafo de flotador, que consiste de un cilindro con una conexión al mar en la base, que actúa como un filtro de paso bajo. El orificio es tan reducido que el movimiento hacia adelante y atrás del agua asociado al oleaje inducido por el viento y otras ondas de períodos cortos no puede pasar a través de él; solamente el cambio lento del nivel del agua asociado a la marea puede entrar en el pozo. Este cambio del nivel del agua es recogido por un flotador y registrado. Esta clase de mareógrafo permite la lectura directa del nivel del agua en todo momento, pero requieren una instalación algo laboriosa y son poco prácticos lejos de la orilla.

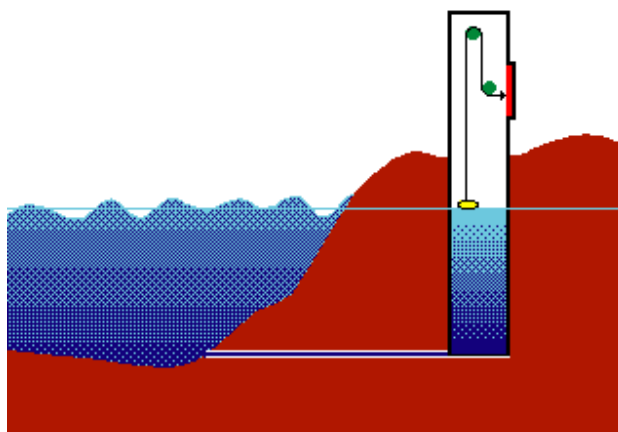


Fig. 1.16 Esquema de mareógrafo de flotador

El segundo es conocido como mareógrafo de presión. Tal instrumento se coloca sobre el lecho marino y mide la presión de la columna de agua sobre él, misma que es proporcional a la altura de agua encima del sensor. Los datos se registran y almacenan internamente y no son accesibles hasta tanto se recupere el mareógrafo.

Además de la medición de marea mencionada anteriormente, los registros de éstas se utilizan con frecuencia para analizar los posibles cambios a largo plazo en el nivel del mar asociados a la variabilidad climática y al cambio del tiempo.

Una nueva generación de estos aparatos está siendo instalada en muchos lugares del mundo, ya que permiten obtener registros del nivel del agua a las exactitudes absolutas de algunos milímetros con estabilidad a largo plazo comparado al patrón estándar. En estos instrumentos, el arreglo del flotador y del alambre del mareógrafo de flotador son substituidos por una medición de distancia basada en láser, y los datos se transmiten mediante un enlace satelital a un centro mundial del nivel del mar que se encarga de supervisar continuamente el funcionamiento de cada mareógrafo.

Una forma más de medir mareas es a través de sensores remotos, y se lleva acabo a través de satélites. Un altímetro mide la distancia entre el satélite y la superficie del mar. Si la posición del satélite se conoce exactamente esto resulta en una medición del nivel del mar. Los altímetros modernos han alcanzado una precisión mejor de 5 cm. La cobertura global proporcionada por los satélites permite la verificación de los modelos globales de marea. Cuando se sustrae las mareas, las observaciones aportan información sobre la forma de la superficie del mar y con el uso del principio de geostrofia, sobre la circulación oceánica a gran escala.

### **h) Equipo GPS**

El Global Positioning System (GPS) o Sistema de Posicionamiento Global, originalmente llamado NAVSTAR, es un Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) el cual permite determinar, en todo el mundo, la posición de un punto, una persona, un vehículo o una nave, con una desviación que va de cuatro metros a centímetros. El sistema fue desarrollado, instalado y actualmente es operado, por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos.

El GPS funciona mediante una red de satélites que se encuentran orbitando alrededor de la Tierra. Cuando se desea determinar la posición de un punto de interés, el aparato que se utiliza para ello localiza automáticamente como mínimo cuatro satélites de la red, de los que recibe unas señales indicando la posición y la hora precisa marcada en el reloj de cada uno de ellos.

Con base en estas señales, el aparato sincroniza el reloj del GPS y calcula el retraso en la recepción de las señales, es decir, la distancia al satélite, para que por triangulación, se calcule la posición del punto de interés.

La triangulación consiste en averiguar el ángulo de cada una de las tres señales respecto al punto de medición. Conocidos los tres ángulos se determina fácilmente la propia posición relativa respecto a los tres satélites. Conociendo además las coordenadas o posición de cada uno de ellos por la señal que emiten, se obtiene una posición absoluta o coordenada real del punto de medición. También se consigue una exactitud extrema en el reloj del GPS, similar a la de los relojes atómicos que desde tierra sincronizan a los satélites.

El receptor GPS funciona midiendo su distancia de los satélites, y usa esa información para calcular su posición. Esta distancia se mide calculando el tiempo que la señal tarda en llegar a su posición, y basándose en el hecho de que la señal viaja a la velocidad de la luz (salvo algunas correcciones que se aplican), se puede calcular la distancia, sabiendo la duración del viaje.

Cada satélite indica que el receptor se encuentra en un punto en la superficie de la esfera con centro en el propio satélite y de radio la distancia total hasta el receptor.

Obteniendo información de dos satélites se nos indica que el receptor se encuentra sobre la circunferencia que resulta cuando se intersectan las dos esferas.

Si se adquiere la misma información de un tercer satélite notamos que la nueva esfera solo corta el círculo anterior en dos puntos.

Teniendo información de un cuarto satélite, la cuarta esfera coincidirá con las tres anteriores en un único punto, y es en este momento cuando el receptor puede determinar una posición tridimensional, 3D (latitud, longitud y altitud).

Para verificar el buen funcionamiento del sistema de posicionamiento, se desacopla la antena del equipo móvil y se coloca sobre vértices conocidos, para corroborar que las coordenadas proporcionadas por el sistema de posicionamiento corresponden a las reales, el sistema se considera adecuado si se esta en un rango de error no mayor a +/- un metro.

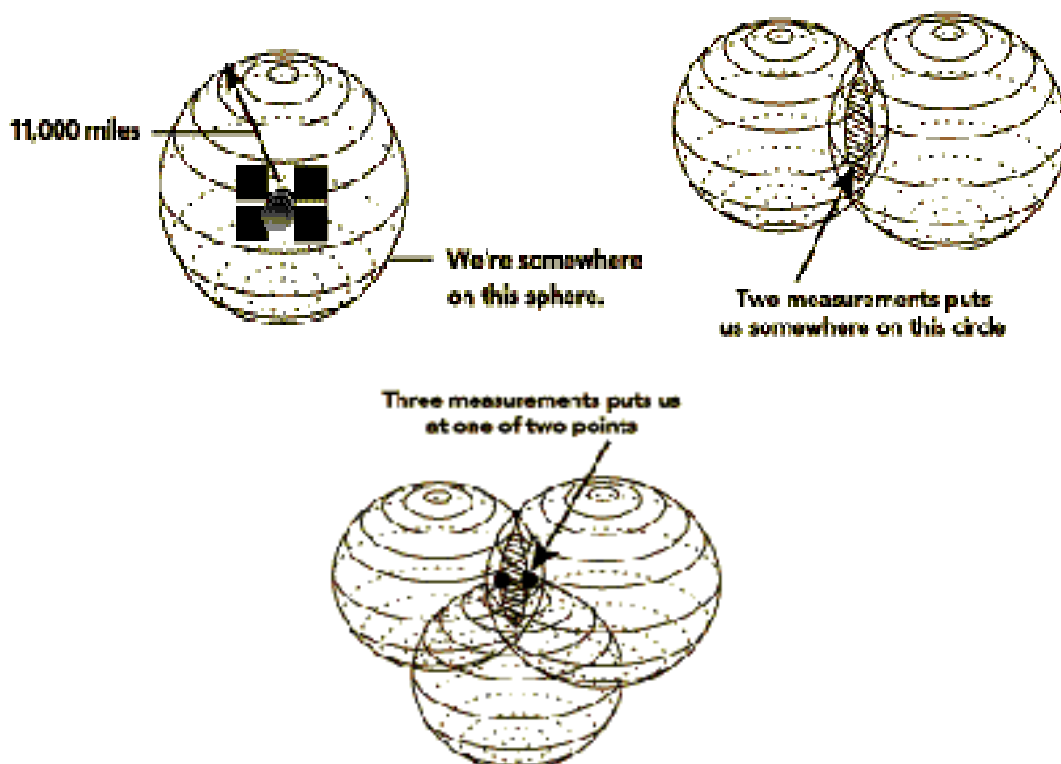


Figura 1.17.- Esquema de funcionamiento de constelación GPS

### **i) DGPS (Differential GPS) GPS diferencial**

Es un sistema que proporciona a los receptores de GPS correcciones a los datos recibidos de los satélites GPS, una vez aplicadas, proporcionan una mayor precisión en la posición calculada y funciona de la siguiente manera:

Una estación base en tierra, con coordenadas muy bien definidas, capta los satélites GPS. Calcula su posición por los datos recibidos de los satélites. Dado que su posición está bien definida, calcula el error entre su posición verdadera y la calculada, estimando el error en cada satélite. Se envía estas correcciones al receptor. Existen varias formas de obtener las correcciones DGPS. Las más usadas son:

- Por radio a través de algún canal preparado para ello, como el RDS en una emisora de FM.
- Descargadas de Internet con una conexión inalámbrica.
- Algún sistema de satélites diseñado para tal efecto. En Estados Unidos existe el WAAS, en Europa el EGNOS y en Japón el MSAS, todos compatibles entre sí.
- Para que las correcciones DGPS sean válidas, el receptor tiene que estar relativamente cerca de alguna estación DGPS, generalmente, a menos de mil kilómetros.

### **j) Levantamiento Batimétrico**

Una vez verificado el buen funcionamiento del sistema GPS y de la Ecosonda, ambos equipos son interconectados a una computadora portátil. Los recorridos de la embarcación se hacen perpendiculares al eje, con la ayuda del software de navegación como se mencionó en la programación de las rutas de navegación.

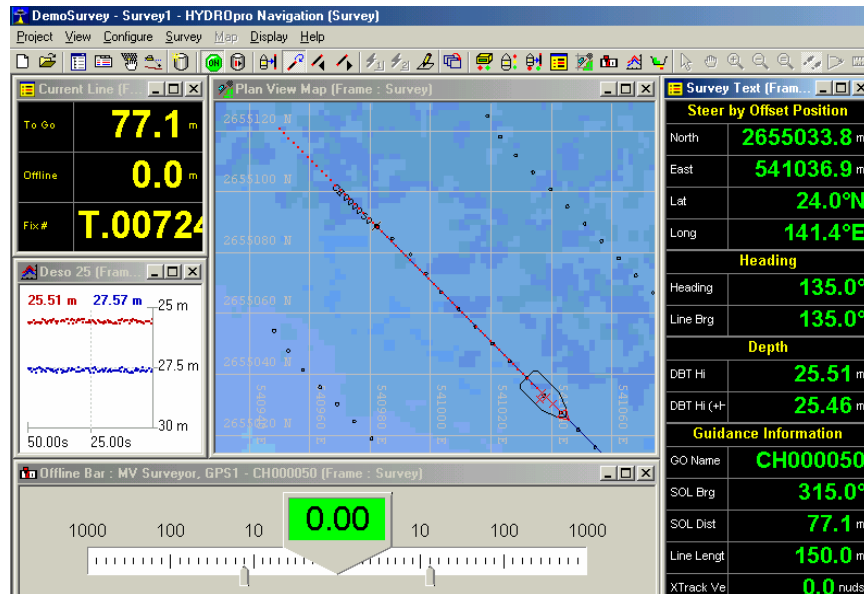


Figura 1.18.- Pantalla del programa Hydro-Pro para levantamientos batimétricos

### k) Postproceso de datos

Una vez recabada la información del trabajo de batimetría se deben editar los resultados obtenidos. Este procedimiento se hace con la finalidad de eliminar los puntos que no concuerdan con el levantamiento; puntos cuya profundidad esta fuera de rango. Así, se conjuntan los datos de las profundidades registradas por la ecosonda con los datos de posición obtenidos por el GPS Diferencial, además de hacer la corrección por el cambio de nivel ocasionado por la marea durante el levantamiento.

El producto final es un archivo de coordenadas tridimensionales XYZ, en el sistema coordinado UTM, el cual puede ser manipulado por programas de diseño asistido por computadora como lo son AutoCAD, CivilCAD, Surfer o Terra Model. Estos son algunos de los programas comerciales y con ellos se pueden hacer el trazo de curvas de nivel de batimetría, hacer cálculo de azolve para trabajos de dragado, o hacer modelos tridimensionales del terreno para representar la forma del fondo marino, entre otros.

### **1.6.2 Mecánica de suelos**

El estudio geotécnico se hace con la finalidad de conocer las características de los materiales que conforman el terreno donde se desplanta una estructura; para este caso específico se explora el subsuelo marino. Esta exploración se hace mediante técnicas de muestreo tales como la penetración estándar. De esta técnica se obtienen muestras alteradas que proporcionen información de las condiciones estratigráficas del sitio. La determinación de la cantidad de sondeos que se harán, está en función de las características e importancia de la edificación y de la uniformidad en los rasgos estratigráficos del sitio.

#### **Prueba de Penetración Estándar:**

Esta prueba permite estimar la resistencia al esfuerzo cortante del suelo, mediante el número de golpes necesarios para hincar el penetrómetro estándar, y obtener muestras inalteradas para poder identificar las características del terreno. Con esta prueba se pueden conocer las condiciones estratigráficas, aprovechando las propiedades índices como son el contenido de agua y los límites de consistencia y estimando la resistencia al cortante, mediante correlaciones empíricas con el número de golpes.

La prueba consiste en hincar el penetrómetro 45 cm. con una masa de 64 Kg., dejada caer desde 75 cm. de altura, contando el número de golpes cada 15 cm, así la resistencia al cortante se define con los golpes de los últimos 30 cm. de la prueba, despreciando los 15 primeros centímetros.

## **CAPÍTULO DOS**

### **CRITERIOS DE DISEÑO**

## **2.1 Embarcación tipo**

La Embarcación de Proyecto o Tipo, es aquella que se utilizará para el dimensionamiento de los elementos estructurales. Dado que estas áreas serán utilizadas normalmente por distintos tipos de embarcaciones, cuyas dimensiones y características de maniobrabilidad pueden ser muy diferentes, es necesario definir como Embarcación de Proyecto, aquella que presente las condiciones límite que serán representativas de los diferentes tipos de barcos y condiciones de carga con las que se operará en el área de análisis, con el objeto de asegurar que la solución que se elija permita la operación de la infraestructura en condiciones de seguridad, por todas las embarcaciones.

## **2.2 Elementos Estructurales**

Los elementos que definen un área de navegación y flotación, incluyen no sólo la configuración geométrica de los espacios, sino también otras condiciones de operación, que normalmente no serán las mismas para todos los tipos de embarcaciones.

Por esta razón, es posible que la embarcación de mayores dimensiones que vaya a operar en un área no sea necesariamente la Embarcación de Proyecto, ya que normalmente los criterios de explotación que se adoptan para la operación de esta embarcación, conllevan a mayores requerimientos de espacio de los que pudieran precisarse para embarcaciones algo menores.

En lo que respecta a las dimensiones geométricas de las áreas de navegación, éstas dependen fundamentalmente de las diferentes características de las embarcaciones (calado, eslora, manga, superficie expuesta al viento, condiciones de maniobrabilidad, etc.), por lo que será necesario considerar como Embarcación de Proyecto aquéllas

asociadas a las condiciones más desfavorables de las características que sean determinantes en cada caso.

En resumen, las áreas de navegación y flotación se dimensionarán para la Embarcación de Proyecto de mayores exigencias, entre aquellas que puedan operar en la zona de análisis, según las condiciones de operación y requerimientos de la misma, suponiendo que el barco se encuentra en la situación de carga más desfavorable.

En ausencia de condiciones específicas de operación, se fijará como Embarcación de Proyecto para cada uno de los tipos de barco que se analice, la de mayor desplazamiento, analizando para cada una de ellas, la condición de carga máxima y mínima, compatible con el uso genérico asignado a las obras proyectadas. Se define como desplazamiento ( $\Delta$ ) al peso total de la embarcación, equivalente al peso del volumen de agua desplazada.

La utilización de las áreas de navegación con carácter excepcional por embarcaciones de mayores exigencias a las previstas en un proyecto, exigirá la comprobación de las condiciones de operación correspondientes a las nuevas embarcaciones, determinándose las condiciones más limitativas en que tendrá que operar dicha embarcación, para que no se superen los resguardos de seguridad establecidos en el proyecto.

Los parámetros más usuales utilizados para definir una embarcación, expresar su tamaño y capacidad de carga son los siguientes:

- **Toneladas de Peso Muerto (TPM):** Peso en toneladas métricas correspondiente a la carga útil máxima, más el combustible y aceite lubricante, agua y bodegas, tripulación.

- **Arqueo bruto de una embarcación (GT):** Volumen o capacidad interior total de todos los espacios cerrados de la embarcación.

- **Toneladas de Registro Bruto (TRB):** Volumen o capacidad interior de una embarcación, medido en toneladas Moorson o toneladas de registro. La tonelada Moorson equivale a 100 pies<sup>3</sup>, es decir a 2.83 m<sup>3</sup>.

Este parámetro (TRB), es una denominación antes utilizada para definir el arqueo de una embarcación, que se está sustituyendo progresivamente por la denominación anterior (GT).

Algunas tipologías específicas de embarcaciones, se designan habitualmente mediante otros parámetros. Tal es el caso de las embarcaciones tipo tanque y transportadores de gases licuados, los cuales se designan por su capacidad de carga en m<sup>3</sup>, o los porta contenedores que se designan por su capacidad en unidades TEU (Twenty Feet Equivalent Unit, número de contenedores tipo de 20 pies, equivalentes), sin que pueda establecerse una relación fija precisa entre estos parámetros y cualquiera de los tres citados anteriormente.

La utilización de cualquiera de los parámetros anteriormente descritos (DTPM, TRB, GT, etc.), si bien son de uso habitual, ninguno de ellos es suficientemente representativo de las características de maniobrabilidad de la embarcación, como para que pueda ser utilizada con carácter sistemático para definir la Embarcación de Proyecto.

El tonelaje de peso muerto (TPM), puede servir como índice de referencia para las embarcaciones que se utilizan fundamentalmente con cargas de alta densidad (petroleros, graneleros, etc.), mientras que el Arqueo Bruto (GT) es más indicado para las embarcaciones que transportan cargas de baja densidad, así como en los que su

capacidad de carga está mejor identificada por un volumen más que por un peso (ferries, embarcaciones de pasaje, etc.).

En cualquier caso y dado que la relación entre estos parámetros no es homogénea para todos los tipos de embarcaciones (ni siquiera es constante para un mismo tipo de embarcaciones, variando con las dimensiones del barco), es recomendable que en el caso de no disponer de una definición precisa de los barcos que se utilizarán como embarcaciones de proyecto, se utilicen las relaciones entre parámetros que se derivan de la Tabla 2.1 2.1.A, interpolando linealmente entre dos tamaños de embarcaciones de un mismo tipo, cuando se necesite.

De acuerdo con el Manual de Dimensionamiento Portuario, en el caso de que se precise conocer el desplazamiento de la embarcación en otras condiciones diferentes de la plena carga, podrá considerarse que el Desplazamiento en Rosca (peso de la embarcación según sale del astillero sin carga, lastre o combustible), es la diferencia entre el Desplazamiento a Plena Carga y el Tonelaje de Peso Muerto; salvo en los casos en que el TPM no sea conocido, se podrá suponer que el Desplazamiento en Rosca varía del 15 al 25% del Desplazamiento a Plena Carga.

Si fuera preciso conocer el desplazamiento en lastre (Desplazamiento en Rosca más el mínimo Peso en Lastre para que la embarcación pueda navegar y maniobrar en condiciones de seguridad), se supondrá que es igual al Desplazamiento en Rosca más un lastre variable entre el 20 y el 40% del TPM, dependiendo de las condiciones climáticas, salvo en los casos en que el TPM no sea conocido, en cuyo caso podrá suponerse que el Desplazamiento en Lastre varía del 30 al 50% del Desplazamiento a plena carga, dependiendo de las condiciones climáticas (el mayor lastre se precisa cuando las condiciones climáticas son más severas).

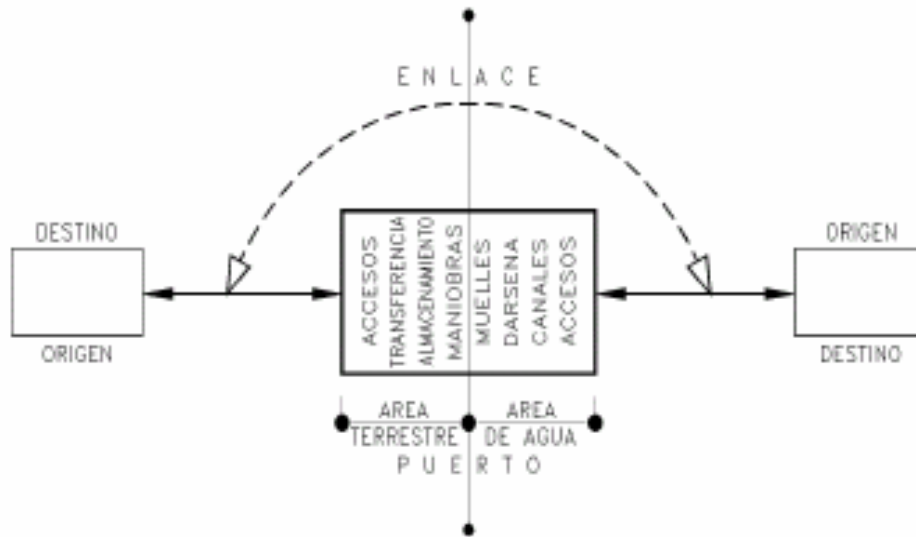


Figura 2.1.- Esquema conceptual de un puerto en general

Manual de Dimensionamiento Portuario

Tonelaje de Peso Muerto (TPM)	Desplazamiento (Δ)	Esora Total (L)	Esora entre perpendiculares (Lpp)	Manga (B)	Puntal (T)	Calado (D)	Coefficiente de Bloque
t	t	m	m	m	m	m	
<b>Petroleros para crudo</b>							
500,000	590,000	415.0	392.0	73.0	30.5	24.0	0.86
400,000	475,000	380.0	358.0	68.0	29.2	23.0	0.85
350,000	420,000	365.0	345.0	65.5	28.0	22.0	0.85
300,000	365,000	350.0	330.0	63.0	27.0	21.0	0.84
275,000	335,000	340.0	321.0	61.0	26.3	20.5	0.84
250,000	305,000	330.0	312.0	59.0	25.5	19.9	0.83
225,000	277,000	320.0	303.0	57.0	24.8	19.3	0.83
200,000	246,000	310.0	294.0	55.0	24.0	18.5	0.82
175,000	217,000	300.0	285.0	52.5	23.0	17.7	0.82
150,000	186,000	285.0	270.0	49.5	22.0	16.9	0.82
125,000	156,000	270.0	255.0	46.5	21.0	16.0	0.82
100,000	125,000	250.0	236.0	43.0	19.8	15.1	0.82
80,000	102,000	235.0	223.0	40.0	18.7	14.0	0.82
70,000	90,000	225.0	213.0	38.0	18.2	13.5	0.82
60,000	78,000	217.0	206.0	36.0	17.0	13.0	0.81
<b>Transportadores de productos petrolíferos y químicos</b>							
50,000	66,000	210.0	200.0	32.2	16.4	12.6	0.81
40,000	54,000	200.0	190.0	30.0	15.4	11.8	0.80
30,000	42,000	188.0	178.0	28.0	14.2	10.8	0.78
20,000	29,000	174.0	165.0	24.5	12.6	9.8	0.73
10,000	15,000	145.0	137.0	19.0	10.0	7.8	0.74
5,000	8,000	110.0	104.0	15.0	8.6	7.0	0.73
3,000	4,900	90.0	85.0	13.0	7.2	6.0	0.74
<b>Graneleros y Polivalentes</b>							
400,000	464,000	375.0	356.0	62.5	30.6	24.0	0.87
350,000	406,000	362.0	344.0	59.0	29.3	23.0	0.87
300,000	350,000	350.0	333.0	56.0	28.1	21.8	0.86
250,000	292,000	335.0	318.0	52.5	26.5	20.5	0.85
200,000	236,000	315.0	300.0	48.5	25.0	19.0	0.85
150,000	179,000	290.0	276.0	44.0	23.3	17.5	0.84
125,000	150,000	275.0	262.0	41.5	22.1	16.5	0.84
100,000	121,000	255.0	242.0	39.0	20.8	15.3	0.84
80,000	98,000	240.0	228.0	36.5	19.4	14.0	0.84
60,000	74,000	220.0	210.0	33.5	18.2	12.8	0.82
40,000	50,000	195.0	185.0	29.0	16.3	11.5	0.80
20,000	26,000	160.0	152.0	23.5	12.6	9.3	0.78
10,000	13,000	130.0	124.0	18.0	10.0	7.5	0.78
<b>Metaneros</b>							
60,000	88,000	290.0	275.0	44.5	26.1	11.3	0.64
40,000	59,000	252.0	237.0	38.2	22.3	10.5	0.62
20,000	31,000	209.0	199.0	30.0	17.8	9.7	0.54
<b>Transportadores de Gases Licuados</b>							
60,000	95,000	265.0	245.0	42.2	23.7	13.5	0.68
50,000	80,000	248.0	238.0	39.0	23.0	12.9	0.67
40,000	65,000	240.0	230.0	35.2	20.8	12.3	0.65
30,000	49,000	226.0	216.0	32.4	19.9	11.2	0.62
20,000	33,000	207.0	197.0	26.8	18.4	10.6	0.59
10,000	17,000	160.0	152.0	21.1	15.2	9.3	0.57
5,000	8,800	134.0	125.0	16.0	12.5	8.1	0.54
3,000	5,500	116.0	110.0	13.3	10.1	7.0	0.54
<b>Portacontenedores (Post Panamax)</b>							
70,000	100,000	280.0	266.0	41.8	23.6	13.8	0.65
65,000	92,000	274.0	260.0	41.2	23.2	13.5	0.64
60,000	84,000	268.0	255.0	39.8	22.8	13.2	0.63
55,000	76,500	261.0	248.0	38.3	22.4	12.8	0.63

Tabla 2.1.- Dimensiones medias de buques a plena carga  
Fuente: Manual de Dimensionamiento Portuario; SCT.

Tonelaje de Peso Muerto (TPM) t	Desplaza miento ( $\Delta$ ) t	Eslora Total (L) m	Eslora entre perpendicu lares (Lpp) m	Manqa (B) m	Puntal (T) m	Calado (D) m	Coefficiente de Bloque
Transbordadores Rápidos, Fast Ferries (valores provisionales)							
Catamarán							
4,000	640	83.0	73.0	23.2 (1)	4.0	2.0 (3)	0.43 (4)
5,000	800	88.0	78.0	24.7 (1)	4.2	2.1 (3)	0.44 (4)
6,000	960	95.0	84.0	26.6 (1)	4.4	2.2 (3)	0.44 (4)
Monocasco							
8,000	1,280	102.0	87.5	15.4 (2)	5.0	2.5 (3)	0.45
10,000	1,600	112.0	102.0	16.9 (2)	5.2	2.5 (3)	0.45
15,000	2,400	128.0	120.0	19.2 (2)	5.4	2.7 (3)	0.47
20,000	3,200	140.0	133.0	21.0 (2)	5.8	2.9 (3)	0.49
Cruceiros de pasaje							
80,000	44,000	272.0	231.0	35.0	20.0	8.0	0.68
70,000	38,000	265.0	225.0	32.2	19.3	7.8	0.67
60,000	34,000	252.0	214.0	32.2	18.8	7.6	0.65
50,000	29,000	234.0	199.0	32.2	18.0	7.1	0.64
40,000	24,000	212.0	180.0	32.2	17.3	6.5	0.64
35,000	21,000	192.0	164.0	32.2	17.0	6.3	0.63
Pesqueros							
3,000	4,200	90.0	85.0	14.0	6.8	5.9	0.60
2,500	3,500	85.0	81.0	13.0	6.4	5.6	0.59
2,000	2,700	80.0	76.0	12.0	6.0	5.3	0.56
1,500	2,200	76.0	72.0	11.3	5.8	5.1	0.53
1,200	1,900	72.0	68.0	11.0	5.7	5.0	0.50
1,000	1,600	70.0	66.0	10.5	5.4	4.8	0.48
700	1,250	65.0	62.0	10.0	5.1	4.5	0.45
500	800	55.0	53.0	8.6	4.5	4.0	0.44
250	400	40.0	38.0	7.0	4.0	3.5	0.43
Embarcaciones deportivas (a motor)							
—	50,0	24,0	—	5,5	—	3,3	—
—	35,0	21,0	—	5,0	—	3,0	—
—	27,0	18,0	—	4,4	—	2,7	—
—	16,5	15,0	—	4,0	—	2,3	—
—	6,5	12,0	—	3,4	—	1,8	—
—	4,5	9,0	—	2,7	—	1,5	—
—	1,3	6,0	—	2,1	—	1,0	—
Embarcaciones deportivas (a vela)							
—	60,0	24,0	—	4,6	—	3,6	—
—	40,0	21,0	—	4,3	—	3,0	—
—	22,0	18,0	—	4,0	—	2,7	—
—	13,0	15,0	—	3,7	—	2,4	—
—	10,0	12,0	—	3,5	—	2,1	—
—	3,5	9,0	—	3,3	—	1,8	—
—	1,5	6,0	—	2,4	—	1,5	—

Tabla 2.1.A.- Dimensiones medias de buques a plena carga (Continuación).  
Fuente: Manual de Dimensionamiento Portuario; SCT.

NOTAS DE LAS TABLAS ANTERIORES:

- (1) La Manga efectiva de flotación de los dos cascos del catamarán es aproximadamente el 45/50% de la indicada, que corresponde a la manga máxima en la superestructura.
- (2) La manga de flotación es aproximadamente el 80/90% de la indicada, que corresponde a la manga máxima en la superestructura.
- (3) El calado indicado es sin estabilizadores (navegación lenta o parada). El calado con estabilizadores es aproximadamente un 70/80% mayor (navegación rápida).
- (4) El coeficiente de bloque está calculado con la manga efectiva de flotación de los dos cascos del catamarán.

### **2.2.1. Subestructura**

Para la constitución del soporte del muelle, generalmente se consideran dos tipos de estructura: pilas y pilotes.

Las pilas se construyen de concreto coladas dentro de una perforación realizada en sitio, en la cual se introduce previamente el acero de refuerzo. Son generalmente de sección circular con diámetro variable desde 60 cm hasta 3 m. El extremo inferior se apoya en estratos de alta resistencia y se emplean para transmitir al terreno grandes cargas concentradas.

Los pilotes son columnas largas prefabricadas, de concreto reforzado, de acero o de madera que se hincan en estratos de suelo blando mediante impacto o vibración de martillos pesados hasta que la punta del pilote llega a la profundidad de los estratos de alta resistencia o alcanzan una longitud suficiente para desarrollar una gran fricción en el fuste y el suelo que lo rodea. Su sección transversal varía considerablemente de forma cilíndrica, cuadrada, triangular, oblonga o las formas típicas de los perfiles estructurales de acero o tubulares, y las dimensiones más comunes son de 10 hasta 60 cm. La longitud máxima de los pilotes suele ser de unos 50 a 60 m y algunas veces mayores. Son capaces de transmitir al terreno cargas del orden de 20 a 300 ton, dependiendo de sus dimensiones y de las propiedades mecánicas de los suelos.

### **2.2.2. Superestructura**

La superestructura esta básicamente constituída por los muelles y todas las obras como plataformas, patios de almacenamiento y descarga, etc.

Los muelles son estructuras ubicadas a la orilla del mar o de los ríos y cuya función es facilitar el enlace de los transportes marítimos y terrestres. Su forma y situación está condicionada por la topografía y batimetría así como los usos del puerto. El tema que ocupa a esta tesis es el de muelles por eso se describen a continuación algunos tipos:

#### **a) Muelles en Peine.**

Este tipo de muelle permite la recepción de embarcaciones pequeñas distribuidas en separaciones perpendiculares a una plataforma alargada.



Figura 2.6.A.- Imagen de muelles en peine

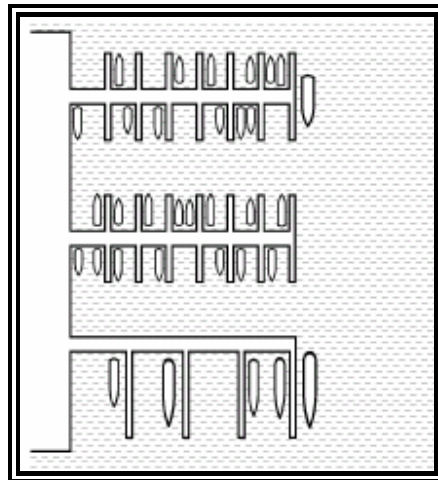


Figura 2.6.B.- Esquema de muelles en peine

**b) Muelles Marginales.**

Se denomina marginal por que el movimiento de carga y descarga se realiza a la orilla del muelle, mediante el uso de grúas y equipo de carga.



Figura 2.7.A.- Imagen de muelle marginal

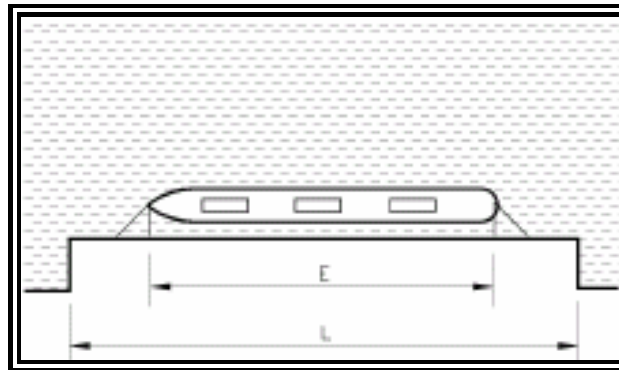


Figura 2.7.B.- Esquema de muelle marginal

### c) Muelles Apoyados en pilas.

Las pilas empleadas como elementos de apoyo para muelles, son análogas a las que se utilizan en puentes. Su uso está restringido por la calidad del suelo. Es un proceso mixto de pila - pilotes cuando la cimbra de la pila ha alcanzado la profundidad fijada y se ha extraído el material del núcleo, se hincan los pilotes por dentro de la misma dejando un tramo, que al rellenar el molde con concreto, queda suficientemente ahogado para asegurar una perfecta unión entre los pilotes y el macizo de que forma la pila.



Figura 2.8.- Imagen de muelle apoyado en pilas.

**d) Muelle en Espigón.**

Esta clase de muelle tiene la ventaja de poder recibir a dos embarcaciones en forma simultánea y así poder agilizar las maniobras de carga y descarga.

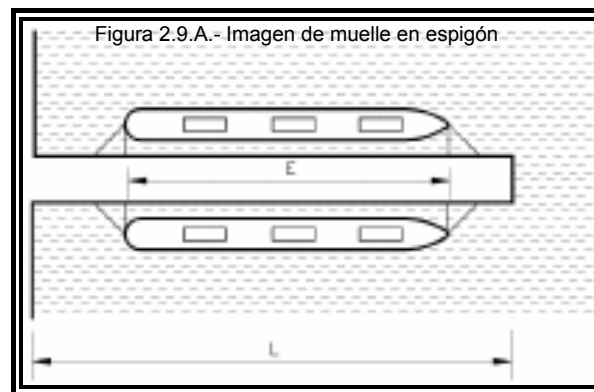


Figura 2.9.B.- Esquema de muelle en espigón

Cualquier distribución que se elija, debe tomar en cuenta que se trata de obtener el máximo frente de atraque para las embarcaciones con el suficiente espacio entre muelles, a fin de que las maniobras de las embarcaciones se hagan sin peligro. Es recomendable además darles la mayor longitud posible en línea recta.

Por su estructura, pueden ser de tipos muy diversos; de pilotes de acero, madera o concreto armado; muros de gravedad, ya sean de mampostería, concreto simple o bloques precolados y por último, aquellos en que el muro vertical está formado por una pared de tablestacas metálicas ó de concreto armado.

## 2.3 Instalaciones

Dentro de los puertos existen diferentes tipos de infraestructura:

### 2.3.1 Obras Accesorias

En este tipo de estructuras es conveniente determinar la longitud, ancho y altura del muelle, así como el nivel medio del mar. Son utilizadas cuando no se tienen las condiciones adecuadas para la cimentación o se requieren dragados muy profundos, muelles marginales o paralelos a la costa o cuando normales a la costa tipo espigón, este tipo de estructuras son muy convenientes en muelles que tengan que cargar y descargar muy cerca de las bodegas haciendo uso de grúas y montacargas.

Algunos tipos de estructuras de atraque son:

- **Muros de gravedad con pared vertical:** Son utilizados cuando la capacidad del suelo es buena. Los muros desplantados por superficie se construyen mediante concreto ciclópeo, concreto armado, bloques de concreto macizo o bloques de concreto hueco.

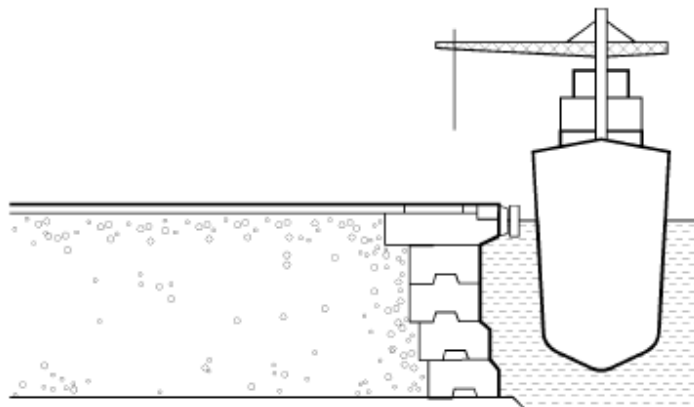


Figura 2.2.- Muros de gravedad

- **Estructuras de tablaestaca:** Estas pueden ser de alma plana y rellenas interiormente con material pétreo, muros formados con tensores y relleno interior. Los factores necesarios para calcular las paredes de tablaestaca son obtenidos de las presiones horizontales que actúan sobre ella.

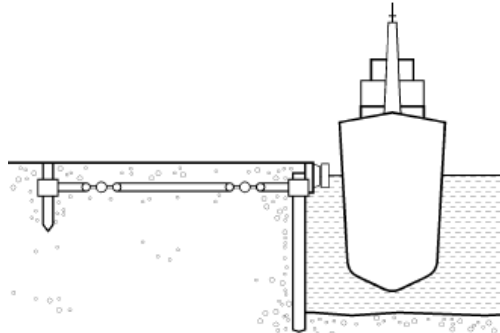


Figura 2.3.- Tablaestacado

- **Muelles de cimentación profunda:** Son estructuras de atraque integradas por una plataforma de trabajo, soportadas por elementos estructurales como lo son pilas y pilotes, los cuales son desplazados en mantos resistentes que generalmente se localizan a gran profundidad. La plataforma de trabajo esta formada por la losa de concreto y por traveses que permiten que se distribuya uniformemente las cargas. Las pilas pueden ser de secciones cilíndricas huecas de concreto armado, por lo que su diámetro es variable. Son utilizadas cuando se tienen estratos muy resistentes, sustituyendo a los muros de gravedad. Los pilotes en un muelle pueden ser inclinados o verticales, se tiene una ventaja en el proceso constructivo en profundidades grandes en la cual los criterios de sustentación de la superestructura resulta antieconómico.

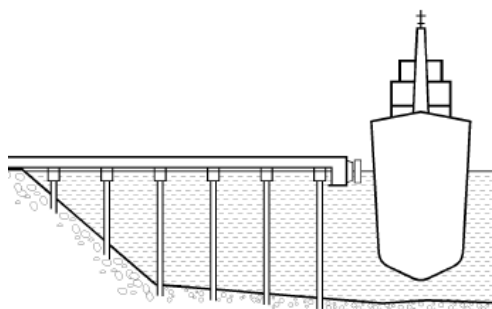


Figura 2.4.- Cimentación profunda

- **Duques de Alba:** Son estructuras diseñadas para el amarre de embarcaciones o para recibir los impactos y absorber la energía de las mismas, así los duques de alba de atraque sirven para proteger a la plataforma de operación, la cual se diseña para cargas verticales y sismo. Los principales factores a considerar en su diseño son: la elasticidad y la capacidad del terreno, la elasticidad de la estructura sujeta al impacto de las embarcaciones y el peso propio de la estructura.

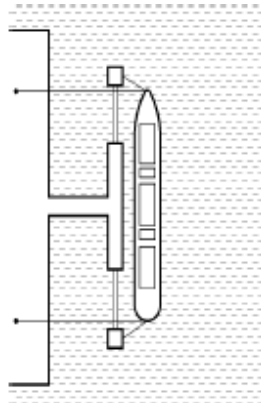


Figura 2.5.- Duques de Alba

### 2.3.2 Obras de Defensa

#### Instalaciones y Obras Accesorias

Se llama Instalaciones y Servicios Portuarios, al conjunto de elementos de obra y accesorios, reunidos para desempeñar una función secundaria, que como complemento de una obra principal o de una organización portuaria, se establece para mejorar su funcionamiento.

Existen asimismo, otras obras de carácter accesorio, de las cuales se describen a continuación:

INSTALACIONES	SERVICIOS
Balizas de situación, balizas de enfilación, boyas, señales sonoras, radar, faros, luces y señales	De señalamiento marítimo en obras de abrigo, en el canal de acceso a los puertos, en la dársena de ciaboga, en muelles bajos y en sitios
Postes, cables, lámparas, ductos, subestaciones, tomas, casetas, registros, plantas, varios.	De iluminación eléctrica en malecones, muelles, duques de alba, almacenes, patios, accesos, talleres, oficinas y algunos otros sitios.
Oficinas, casetas, señales, atracaderos.	De prácticos para guiar a las embarcaciones al entrar, atracar, desatracar y salir del puerto.
Tuberías, muebles de baño, salidas de aguas negras, locales apropiados, varios.	Sanitarios en muelles, almacenes, patios, talleres y en lugares varios.
Bitas, cornamusas, ganchos, cables, argollas, anclas, muertos, varios.	De amarre en muelles, duques de alba, atracaderos y en otros sitios.
Piezas de hule, de madera, guirnaldas, llantas, accesorios, varios.	De defensa de atraque en muelles, duques de alba y atracaderos.
Instalaciones en terminales marítimas, fluviales o lacustres, terrestres y aéreas, para movimiento de pasajeros.	De transporte.
Oficinas dedicadas a la atención de obras portuarias, iluminación marítima, estado del tiempo, fenómenos marítimos, características y condiciones del puerto, navegación, emergencias, comunicaciones por agua, varios.	De información a cargo de dependencias del Gobierno.
Para avituallar y abastecer.	De abastecimiento a embarcaciones.
Para tratamiento de aguas negras, descarga de esas aguas y de las residuales.	De alcantarillado y saneamiento. Mejoramiento ambiental.
De retención de arenas movidas por el viento. Plantación de árboles y de otras especies vegetales para detener el avance de dunas.	Protección contra invasión de arenas.
Centros de salud.	De sanidad o salubridad.
Restaurantes, comedores y otros locales para alimentación.	Alimentación fuera de las embarcaciones.

Tabla 2.2.- Instalaciones y obras Accesorias

## **Obras de protección:**

### **Obras de Abrigo**

Con objeto de proporcionar una zona tranquila donde los barcos efectúen sus operaciones en un puerto con seguridad, es necesario construir escolleras que protejan del oleaje y sirvan además para contener los azolves que se producen.

Pueden ser de varios tipos, dependiendo de las condiciones locales y muy especialmente de los materiales de construcción que se encuentran disponibles.

Para el diseño de estos diques u rompeolas el principal factor a considerar es la magnitud del oleaje, el área que ocuparán los barcos en la zona de calma y la longitud de la obra necesaria para impedir que las arenas penetren al puerto. La altura de ola que cambia con las mareas, define la altura del dique. Se deben conocer las acciones de las fuerzas del mar muchas veces utilizando modelos hidráulicos para poder dimensionar adecuadamente las secciones transversales del proyecto.

En forma esquemática los diques pueden ser de pared vertical o de talud; los primeros se construyen utilizando cajones de concreto, rellenos o grandes bloques colocados en el lugar. Los de talud se construyen con enrocamientos naturales, o con núcleos de enrocamiento y revestimiento de piezas artificiales, ya sean bloques, tetrápodos u otras piezas de forma especial.

### **Obras Exteriores.**

#### **Clasificación**

Para su estudio las obras exteriores se clasifican de la siguiente forma:

**Rompeolas:** Es una estructura que sirve para reflejar y disipar la energía del oleaje, para evitar su incidencia sobre un área que se desea proteger; también se puede decir que un rompeolas es cualquier obstáculo que se interpone a la propagación del oleaje.

La función esencial de una obra de protección como rompeolas, en un puerto es proteger los accesos, las zonas de maniobras y las obras interiores contra la acción de los oleajes procedentes de aguas profundas.



Figura 2.10.- Imagen de Rompeolas

**Espigones:** Son estructuras de protección costera que se construyen para conservar el perfil de una playa, deteniendo el acarreo litoral. Los espigones generalmente se construyen perpendiculares a la costa y se prolongan desde un punto tierra adentro de posible regresión de la línea de playa hasta una profundidad suficiente para estabilizarla.



Figura 2.11.- Imagen de Espigón

**Protección Marginal**-. Son estructuras dispuestas en paralelo o casi paralelamente a la línea de la costa, para separar una zona terrestre de una de mar. El principal propósito de una protección marginal es proteger la costa y las propiedades cercanas a ésta de los daños que pueda causar el oleaje.



Figura. 2.12.- Protección Marginal

## Escolleras

Una escollera es una estructura semejante a un rompeolas que se extiende dentro de un cuerpo de agua para dirigir y encausar una corriente o flujo de marea hacia un área determinada y evitar que el acarreo litoral azolve el canal. Las escolleras se localizan en la desembocadura de un río, boca de laguna o boca de un estero, con el fin de ayudar a profundizar el canal de navegación al provocar el arrastre de material hacia aguas profundas.

Estas estructuras pueden ser construidas a base de elementos artificiales de concreto (cubos, dolos, tetrápodos, etc.), de elementos naturales (roca) o bien por una combinación de ambos.



Figura. 2.13.- Escolleras en la desembocadura del Río Tuxpan

## Defensas de atraque

Las defensas de atraque son dispositivos amortiguadores que se utilizan en los muelles, para proteger tanto a éstos como a las embarcaciones, de los efectos del choque, reduciendo los daños de impacto y desgaste entre barco y estructura.

Las defensas pueden ser: flexibles, elásticas, de gravedad, flotantes y mixtas. Las flexibles y las elásticas son las que absorben directamente parte de la energía del choque, como sucede con las de madera, con las de hule y con las de resorte. Las de gravedad funcionan de tal modo, que la energía del choque se absorbe por desplazamiento vertical y horizontal de una determinada masa suspendida de la estructura del muelle. Las defensas flotantes se sostienen en el agua sin hundirse; pero están sujetas al muelle de tal modo que se desplazan a contacto de las embarcaciones. Las mixtas se forman combinando uno u otro de estos tipos de defensas.

Los sistemas de defensa en comparación de la estructura del muelle son elementos muy deformables, absorben energía con mayor desplazamiento y menor fuerza. Los sistemas de defensa que se utilizan son:

**Fijas:** son elementos flexibles fijos en la pantalla de atraque que absorben energía al deformarse durante el impacto. Las más comunes consisten en grandes masa de hule.



Figura. 2.14.- Defensas de atraque fijas rectangulares

**Colgantes:** este tipo de defensa se puede constituir por piezas de hule, pantallas de madera o una combinación de ambas.



Figura. 2.15.- Defensas de tipo colgante

**De Gravedad:** son defensas que absorben energía al incrementar la energía potencial gravitacional de masas y vencer la fricción.

## **Capítulo Tres**

### **Caso Práctico:**

**“Construcción de un muelle en la Isla de la  
Roqueta, Acapulco, Guerrero.”**

### 3.1 Alcances

El caso práctico seleccionado correspondiente a la construcción de un muelle en La isla de la Roqueta, la decisión de tomar éste, radica en que es un muelle pequeño que debe abarcar las consideraciones hechas en los capítulos anteriores, por lo que en su desarrollo se aprecia, la relación entré los fenómenos físicos y el fin al que se pretende determinar la contracción del muelle.

#### 3.1.1. Recopilación de información básica

La Isla de la Roqueta está ubicada en la parte noroeste del Acapulco tradicional, se encuentra rodeada por las aguas del Océano Pacífico y tiene una extensión aproximada de 8 km<sup>2</sup>., cuenta con 2 playas, la playa de los Enamorados y la Playa Roqueta.



Figura. 3.1.- Ubicación de Acapulco dentro de la Republica

La isla es un área natural protegida, con clima tropical, resguardada por la Secretaría de Marina. Solo se puede tener acceso a ella por medio de transporte marítimo, como son lanchas, yates y veleros.



Figura. 3.2.- Ubicación de la Isla de la Roqueta en las inmediaciones del puerto de Acapulco.

A fin de proporcionar ayudas a la navegación marítima, la isla cuenta con un faro que funciona a base de plantas generadoras de energía eléctrica; el abastecimiento de combustible se realiza a través de una embarcación adscrita a la capitanía del puerto.

Desde hace varios años, la isla cuenta con un muelle en T de concreto reforzado, que es el que ofrece posiciones de atraque para todas las embarcaciones que llegan a esta Isla.

A efecto de disponer de información relacionada al muelle objeto del presente trabajo, así como las características del lugar, fueron consultadas las siguientes fuentes:

- **Secretaría de Comunicaciones y Transportes**

Coordinación General de Puertos y Marina Mercante.  
Dirección de Obras Marítimas

Dirección General de Capitanías  
Capitanía Regional de Acapulco, Guerrero.

- **Administración Portuaria Integral de Acapulco, Guerrero.**

Estas instituciones proporcionaron información existente de trabajos similares realizados con anterioridad como batimetrías, datos de transporte de litoral, corrientes, mareas y vientos, de la zona de estudio.

Adicionalmente fueron consultadas las siguientes publicaciones para este trabajo:

- Tablas de Mareas Océano Pacífico 2004.- Secretaría de Marina. Dirección General de Oceanografía Naval
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

La posición de los bancos de nivel oficiales utilizados para la realización de los trabajos topográficos y de batimetría, fue proporcionada por las Instituciones anteriormente mencionadas

### **3.2 Trabajos de campo**

Las inspecciones iniciales son una herramienta en la solución de problemas, pues dan una visión de los factores que deben considerarse para un planteamiento de

solución adecuado. En este tenor el trabajo de campo cumple una función primordial ya que su correcta ejecución facilitará el análisis y la obtención de resultados.

### 3.2.1. Inspección y levantamiento físico de las instalaciones actuales

Para el caso en estudio, el objetivo es diseñar y construir un muelle a un lado del existente en la Isla de la Roqueta, con la finalidad de proporcionar un mejor servicio de transporte por medio de embarcaciones que proporcionan el servicio de transporte de pasajeros de la isla a la playa de Acapulco y viceversa. En el presente trabajo de tesis, se dirigirán las acciones al diseño de la ampliación del muelle.

La información necesaria para tener una visión clara de las condiciones físicas del muelle así como de sus requerimientos se obtiene a partir de la realización de un levantamiento, donde se identifican y miden las áreas del muelle. Tomando datos que ayudan a la elaboración de planos de apoyo que indiquen cual es la configuración del atracadero y dentro de ellos se ubiquen en forma representativa, las áreas, los elementos estructurales que componen el muelle y sus partes afectadas.

Esquemáticamente se muestra en la figura y fotos siguientes, la composición del muelle según lo recabado en el reconocimiento inicial.

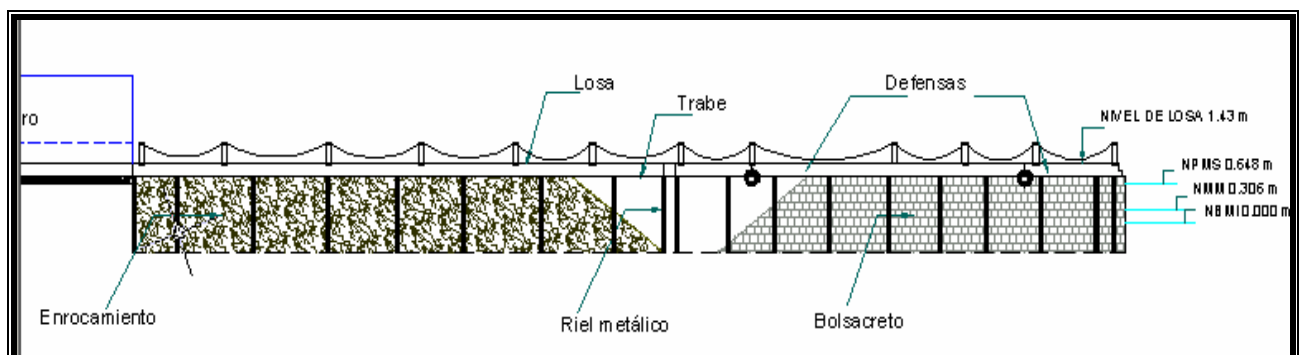


Figura. 3.3.- Esquema ilustrativo del muelle existente



Figura. 3.4.- Vista del muelle existente en la Roqueta



Figura. 3.5.- Vista frontal del muelle

Las fotos siguientes muestran las condiciones en que se encuentra el muelle en términos generales; en ellas se puede observar claramente la falta de mantenimiento, el desgaste por el uso y el deterioro que le ha causado el medio físico.



Figura. 3.6.- Socavación bajo el muelle existente



Figura. 3.7.- Elementos de protección del muelle

En la siguiente fotografía, se muestra una vista de perfil del muelle actual y una proyección de lo que ser la ampliación.

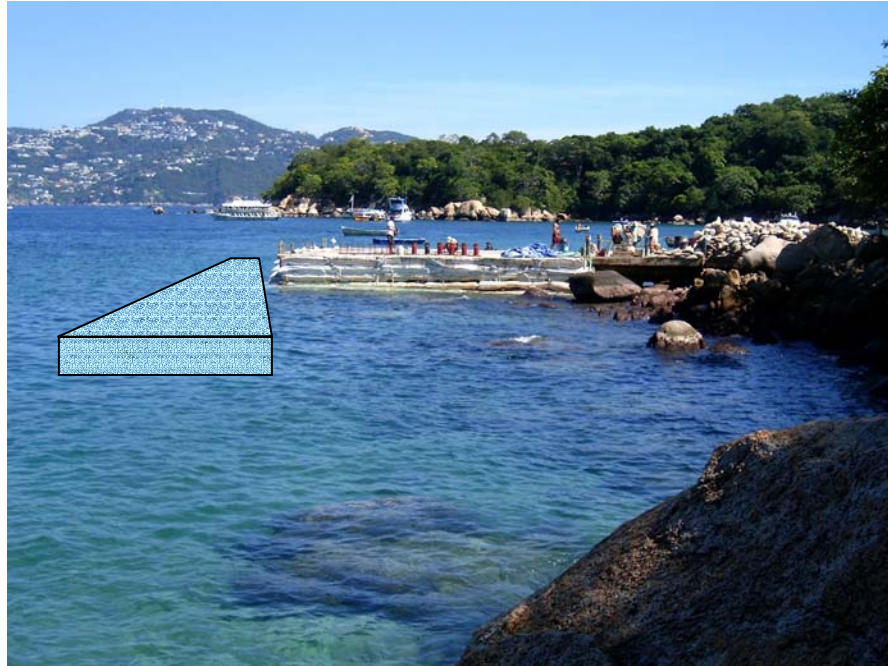


Figura. 3.8.- Proyección de la ampliación del muelle.

Partiendo de la fotografía anterior que da una idea de lo que se pretende construir, se iniciará la propuesta estructural del muelle, manejando los estudios que se han descrito en el primer capítulo de este trabajo de tesis.

### 3.2.2 Levantamiento Topobatimétrico

Los trabajos de topobatimetría se realizaron conforme a lo descrito en el capítulo uno, utilizando el siguiente equipo:

Para el levantamiento topográfico:

- GPS Base
- GPS Móvil

- Calculadora con software especializado para levantamientos topográficos cinemáticos.

Para el levantamiento batimétrico:

- Ecosonda digital con impresión en rollo, equipada con transductor.
- GPS con configuración RTK
- Computadora portátil.
- Lancha

Las coordenadas de los bancos de nivel fueron tomadas mediante el uso del Sistema de Posicionamiento Global (GPS). El GPS se utilizó en su modalidad estática, colocado al menos una hora como lo establece la normatividad de INEGI, en un punto utilizado como referencia para el levantamiento.

El equipo posiciona el lugar con precisión milimétrica en el sistema coordenado UTM y arrojó la siguiente información para los puntos de control:

- Muelle de la terminal de cruceros de API

X = 404,063.27 m

Y = 1'863,023.613 m

Z = 2.628 NBMI

- Club de yates, BN 1:

X = 403,797.644 m

Y = 1'861,854.253 m

Z = 1.462 NBMI

- B.N. de la Roqueta:

$$X = 403,462.783$$

$$Y = 1'860,175.536$$

$$Z = 2.737 \text{ NBMI}$$

### LECTURA DE REGLA DE MAREAS

En lo concerniente a lectura de mareas, se obtuvieron los datos que se resumen en la tabla mostrada abajo.

Las mediciones se tomaron cada 15 minutos. Los valores máximo y mínimo son marcados en negritas. Éstos son importantes para saber cual fue la variación de la marea con respecto del tiempo y así poder hacer la corrección de las profundidades obtenidas de la batimetría.

Lugar de Medicion : Muelle la roqueta  
 Datum: Nivel de Bajamar Media  
 Observador: Juan Gabriel Raya  
 Fecha de levantamiento: 25/10/2004  
 Ubicación UTM:  
 X=403,462.783  
 Y=1,860,175.536  
 Z=2.737

Hora	Nivel de marea [m]
04:30 p.m.	0.22
<b>04:45 p.m.</b>	<b>0.24</b>
05:00 p.m.	0.21
05:15 p.m.	0.20
05:30 p.m.	0.19
05:45 p.m.	0.18
06:00 p.m.	0.17
<b>06:15 p.m.</b>	<b>0.16</b>

Tabla 3.1. Registro de mareas

### **3.3 Estudios de Mecánica de Suelos**

Los trabajos realizados se efectuaron en dos etapas, la primera; de investigación preliminar, deberá permitir la definición tentativa de los problemas geotécnicos del sitio, lo que servirá para fundamentar la segunda etapa, investigación de detalle, que incluye la realización de sondeos, pruebas de campo y de laboratorio.

#### **3.3.1. Trabajos de Exploración Geotécnica**

Las características de los materiales del subsuelo marino a mayor profundidad, se obtienen a partir de sondeos exploratorios en el fondo marino con una perforación máxima de 5m, obteniendo durante su ejecución muestras representativas alteradas a profundidad.

Estos sondeos exploratorios se ejecutan con la técnica de penetración estándar, para poder determinar la resistencia del suelo a la penetración, mediante el número de golpes necesarios para hincar el penetrómetro estándar. Con la ayuda de las propiedades índice determinadas en las muestras alteradas recogidas, se determinaron las condiciones estratigráficas del sitio, estableciendo con ello, la configuración del perfil estratigráfico.

La estratigrafía en el sitio se compone por una capa de arena gruesa y muy limpia de color café, compuesta de cuarzo cristalino y feldespatos amarillentos con un espesor de 3 m, una capa de granito macizo de color blanco y café claro amarillento.

#### **3.3.2. Trabajos de laboratorio**

Estas pruebas se establecen para cumplir con dos objetivos esenciales: clasificar cuidadosamente los suelos encontrados y obtener sus parámetros de resistencia y

deformabilidad para el diseño de la cimentación. Para alcanzar estos propósitos, se realizaron pruebas índice.

En todas las muestras obtenidas se efectúan los siguientes ensayos:

- \* contenido de humedad
- \* contenido de finos

Con estos resultados se identifica la naturaleza de los materiales, utilizando para ello el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Los resultados obtenidos de estas pruebas son los siguientes:

### **Arena café**

Pertenecen a esta unidad arenas finas y limpias de color café. En su composición se observan micas, además de capas de arena gruesa y arenas limosas con gravillas bien redondeadas y ocasionales fragmentos de conchas. Cubren a estos materiales producto del desecho artificial así como escamas de pescado.

El número de golpes registrado en la prueba SPT se incrementa desde 5 golpes en la superficie hasta más de 50 a profundidad. Estos valores se asocian con un material en estado suelto a muy compacto.

El contenido de agua en los materiales recuperados se observa hasta de 25% a profundidad. Por su parte, el contenido de finos se ubica generalmente alrededor del 10%.

Las propiedades determinadas a partir de la reproducción de probetas al 90 y 95% de la compacidad relativa, fueron las siguientes,

Profundidad	3	5	m
Compacidad relativa	95	95	%
Peso Volumétrico $\gamma$	2,118	2,103	kg/m <sup>3</sup>
Cohesión aparente $C_{cd}$	0.2	1.2	t/m <sup>2</sup>
Ángulo de fricción interna, $\phi_{cd}$	34	36	grados

Tabla 3.2.- Resultados de mecánica de suelos

De acuerdo con la información recabada del subsuelo, los trabajos de exploración, los ensayos del laboratorio y las características del proyecto, se propone como solución de cimentación para el muelle el empleo de pilas. Estos elementos se desplantarán a una profundidad de 5 m bajo el lecho marino y estarán empotrados en la capa de arena café. Sobre la cabeza de las pilas se construirá una losa de concreto armado que formará la plataforma del muelle.

A continuación se citan las características con que debe cumplir la cimentación, así como las condiciones de resistencia y deformación que rigen para el diseño.

### **Nivel del mar**

Sobre los materiales descritos, el Nivel de Bajamar Media Inferior (NBMI) se localiza aproximadamente entre 1 y 5 m por encima.

### **Resistencia vertical**

De acuerdo con el criterio propuesto por L. Zeevaert, la capacidad de carga última ( $Q_u$ ) para este tipo de cimentaciones se evalúa con la ecuación siguiente,

$$Q_u = Q_{up} + Q_{uf}$$

En donde  $Q_{up}$  representa la capacidad de carga última por punta, y  $Q_{uf}$  la capacidad de carga última debido a la fricción positiva generada entre el fuste del elemento y el suelo envolvente.

La capacidad de carga admisible ( $Q_a$ ) aplicable al diseño de la cimentación se establece incluyendo un factor de seguridad ( $F_s$ ) a cada uno de los términos de la expresión anterior que, para este tipo de cimentaciones se considera entre 2 y 3. Con ello, la capacidad de carga admisible queda representada por

$$Q_a = \frac{Q_{up}}{F_{s_p}} + \frac{Q_{uf}}{F_{s_f}}$$

Para este proyecto, se ha considerado para el diseño de la cimentación un factor de seguridad para la capacidad de carga por punta  $F_{sp}=3$  y para la capacidad de carga por fricción  $F_{sf}=2$ .

La capacidad de carga última por punta por estas cimentaciones se define mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{up} = 1.2 a_p(\sigma_z N_q) D_r$$

Siendo  $a_p$  el área de la sección de la pila a nivel de desplante,  $N_q$  es un factor de capacidad de carga que dependen del ángulo de fricción interna del depósito de apoyo ( $\phi$ ) y de la geometría de la superficie potencial de deslizamiento asumida,  $\sigma_z$  es el esfuerzo vertical efectivo a la profundidad de desplante de la pila y  $D_r$  la compacidad relativa del material de apoyo.

La evaluación de la capacidad por carga última por fricción en la longitud de enterramiento de la pila, se determina mediante,

$$Q_{uf} = \omega \int_0^L S_{oz} dz$$

Donde  $\omega$  y  $L$  son el perímetro y longitud de la pila en contacto con el suelo y  $S_{oz}$  la resistencia al esfuerzo cortante en la interfase suelo-pila, definida como,

$$S_{oz} = \left( \frac{1 - \text{sen}^2 \phi}{1 + \text{sen}^2 \phi} \tan \phi \right) \sigma_z$$

Siendo  $\sigma_z$  el esfuerzo efectivo a la profundidad  $z$ .

Aplicando el criterio expuesto para el cálculo de la capacidad de carga y en función de las propiedades geométricas y materiales que gobiernan el sistema suelo-cimentación del problema en estudio, se tiene que la capacidad de carga vertical admisible en las pilas es función de su diámetro  $D$ , y queda representada por la ecuación siguiente,

$$Q_a = 29.3D^2 + 3.8D$$

### **Resistencia horizontal**

Por otra parte, la capacidad que ofrecen las pilas ante cargas laterales se ha definido a partir del criterio simplificado propuesto por Broms. Donde la capacidad de carga horizontal de las pilas varía con la longitud del elemento y las condiciones de confinamiento.

En suelos sin cohesión, como los encontrados en el sitio, la resistencia horizontal ( $Q_{uh}$ ) de una pila se define como:

$$Q_{uh} = 1.5 \gamma' L^2 D K_p$$

Donde  $\gamma'$  es el peso volumétrico efectivo del suelo y  $K_p$  es el coeficiente de empuje pasivo, dependiente del ángulo de inclinación de la pila y del ángulo de fricción interna del suelo.

Para el diseño de la cimentación se incluye un factor de seguridad en la expresión anterior, con lo que se obtiene la capacidad de carga admisible horizontal ( $Q_{ah}$ ):

$$Q_{ah} = \frac{Q_{uh}}{F_s}$$

Considerando  $F_s=3$ , la expresión que define la capacidad de carga horizontal de las pilas en función de su diámetro es la siguiente:

$$Q_{ah} = 23.1D$$

### **Deformaciones**

Debido a las condiciones estratigráficas del sitio, los asentamientos en la estructura serán predominantemente de tipo elástico ( $\delta_e$ ) y se presentarán durante la etapa constructiva.

La magnitud de las deformaciones esperadas se determina satisfactoriamente a través de la teoría de la elasticidad, mediante la siguiente expresión:

$$\delta_e = M_e (1 - \nu^2) q_0 \pi D / 4$$

Donde  $\nu$  representa la relación de Poisson,  $q_0$  el esfuerzo bajo el la pila,  $M_e$  el módulo de deformación elástica del estrato de apoyo y  $D$  el diámetro de la pila.

Como se observa la deformación generada por las descargas de la estructura es igualmente dependiente de la geometría de la sección del elemento de cimentación. En función de ello, y considerando los esfuerzos máximos admisibles que transmite la cimentación se calcularon las deformaciones esperadas en las pilas ubicándose en el rango de 2 a 4 cm.

Por otra parte, los módulos de reacción vertical ( $K_v$ ) y horizontal ( $K_h$ ) empleados para modelar estructuralmente a las pilas, se definen como

$$K_v = Q_0 / d$$

$$K_h = n z / D$$

Siendo  $Q_0$  la carga que transmite la cimentación,  $d$  la deformación generada,  $n$  una constante relacionada con la compacidad del suelo y  $z$  la profundidad.

### **3.4 Trabajos de gabinete**

Con el análisis de los resultados obtenidos y añadiendo información general relacionada con el tipo de obra que se pretende construir se llegan a los siguientes planteamientos.

- Investigaciones recientes indican que, actualmente, la región con mayor potencial sísmico en el país es el área cubierta por las brechas de Guerrero y San Marcos. Se estima que en la región de Petatlán a Acapulco y de Acapulco a Ometepepec, puede ocurrir un sismo con magnitud  $M_s=8.2$ , o bien, dos a cuatro con  $M_s=7.9$ .

- Como solución de cimentación para las estructuras proyectadas se propone el empleo de pilas. Estos elementos se desplantarán a una profundidad de -6.65 y -7.65 m referidos al NBMI desplantadas sobre la capa de granito. Sobre la cabeza de las pilas se construirá una losa de concreto armado que formará la plataforma del muelle.

### 3.4.1.-Evolución Costera

Las condiciones físicas de la zona de estudio comprenden el viento, corriente, y las fluctuaciones de nivel que se presentan cerca del muelle debido a la acción de las mareas.

#### **Viento.**

La velocidad del viento en la bahía de Acapulco registrada desde 1986 hasta 1997 es de:

<b>AÑO</b>	<b>Vel. Viento (m/s)</b>
1986	6.5
1987	7.64
1988	9.65
1989	14.3
1992	12
1993	19.93
1994	8.38
1995	10.31
1996	14.91
1997	11.19

Tabla 3.3.- Resumen de estadísticas anuales de velocidad del viento

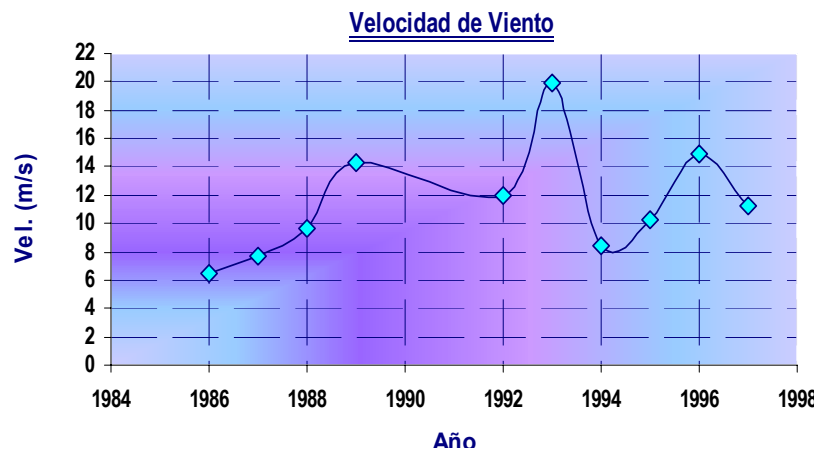


Figura. 3.9.- Gráfica de velocidades promedio anuales de viento.

La velocidad del viento en la Bahía de Acapulco, registrada mensualmente es la siguiente:

<i>Mes</i>	<i>Vel. Viento (m/s)</i>
Enero	2.63
Febrero	2.73
Marzo	3.24
Abril	2.7
Mayo	3.52
Junio	3.71
Julio	4.41
Agosto	3.48
Septiembre	3.54
Octubre	3.49
Noviembre	2.95
Diciembre	3.19

Tabla 3.4. Resumen de estadísticas de velocidad del viento por mes.

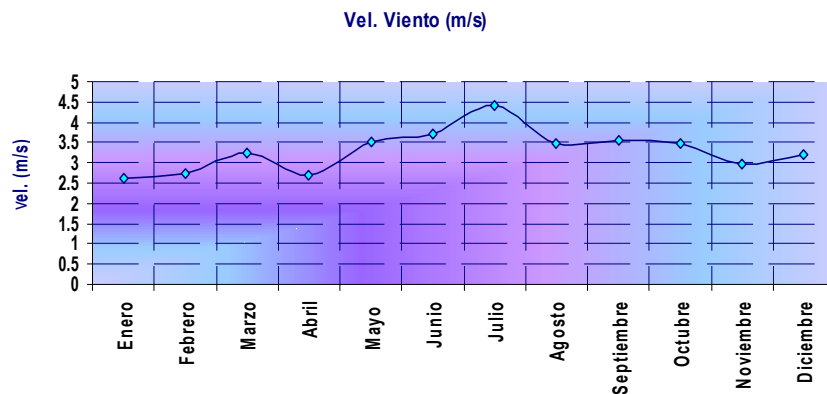


Figura. 3.10.- Gráficas de velocidad mensual del viento.

La velocidad del viento para diseño en la zona de proyecto es aproximadamente 20  $m/s$ , proveniente del sudoeste.

### **Corrientes**

Las mareas en la bahía de Acapulco, tienen una duración media de seis horas cada día, entre pleamar y bajamar consecutivas; se vacían por Punta Bruja y se llenan por el Canal de la Hierbabuena y por el Canal de Boca Chica. Es por ello que las corrientes en Acapulco, esto hace que la corriente se pegue al cerro de las Brisas y salgan por Punta Bruja.

### **Variación en el nivel del mar**

La marea existente en el área es de tipo mixta semidiurna con un rango medio de 0.306 m, un nivel máximo de 1.672 m y un nivel mínimo de -0.921 m con respecto al nivel medio del mar.

<b>Variación del nivel del mar</b>	
Pleamar máxima registrada	1.215 m
Nivel de pleamar media	0.542 m
Nivel medio del mar	0.306 m
Nivel de bajamar media	0.068 m
Bajamar mínima registrada	-0.464 m

Tabla 3.5.- Niveles estadísticos de marea

Los datos mostrados en la tabla son registros tomados por el mareógrafo localizado en el Club de Yates A.C. en el Puerto de Acapulco, y se han tomado para la zona de estudio por no contar con registros de mareas de la Isla de la Roqueta

### **3.4.2.- Levantamiento de información de posibles usuarios**

Para disponer de la información necesaria de todos los agentes que intervienen en actividades relacionadas con la Isla de la Roqueta a corto y mediano plazos, se utilizaron datos de un estudio de mercado que consistió en consultas directas con la Capitanía de Puerto, además de entrevistas y encuestas directamente a los usuarios del muelle; obteniéndose la información que se muestra a continuación.

El muelle de la Isla de la Roqueta es utilizado por embarcaciones de uso turístico conocidas como lanchas de fondo de cristal; ocasionalmente, también es ocupado por pangas, lanchas de la Armada de México y patrullas marítimas de la Capitanía de Puerto.

Las embarcaciones de fondo de cristal tienen tres puntos como base en la bahía de Acapulco, estos sitios son:

- la Bahía de Acapulco
- muelle del malecón
- muelle de Caleta y Caletilla.

El recorrido que hacen estas embarcaciones tiene dos escalas, una que consiste en visitar la Virgen de los Mares cerca de la isla La Yerbabuena y la otra es la isla de la Roqueta; solo del muelle de Caleta y Caletilla salen embarcaciones que hacen recorridos directos.

En el muelle de Caleta y Caletilla operan 31 embarcaciones que pertenecen a la Sociedad Cooperativa de Servicios Turísticos Cielo, Mar y Tierra, S.C.L.; esta cooperativa cuenta actualmente con 39 permisos y se tienen 8 embarcaciones en reparación, tiene una capacidad para transportar de 25 a 40 pasajeros.

Generalmente, en el muelle de La Roqueta la estancia de atraque dura alrededor de 20 minutos, tiempo que tarda aproximadamente el ascenso y descenso de pasaje.

Las características de las embarcaciones que se encargan de hacer los recorridos turísticos y de movimiento de pasajeros, son las que se muestran en la siguiente tabla:

EMBARCACIONES ESTANDAR		
	PEQUEÑA	GRANDE
ESLORA	9.55 m	12.00 m
MANGA	2.75 m	3.40 m
PUNTAL	0.85 m	1.45 m
TRB	6.20 ton	17.32 ton
TRN	5.20 ton	13.85 ton

Tabla 3.6.- Características de embarcación estándar



Figura. 3.11.- fotografía de embarcación estándar

Las embarcaciones de fondo de cristal que ofrecen el servicio del recorrido a la Virgen de los Mares, llegan a la isla de La Roqueta. Estas embarcaciones son las de mayor capacidad (hasta 100 pasajeros). A continuación se describen sus características:

EMBARCACIÓN DE MAYOR CAPACIDAD	
ESLORA	22.20 m
MANGA	5.57 m
PUNTAL	1.45 m
TRB	92.62 ton
TRN	74.09 ton

Tabla 3.7.- Características de embarcación de diseño



Figura 3.12.- Embarcación de diseño (mayor capacidad)

### 3.4.3.- Planteamiento de alternativas de solución de ingeniería

Como resultado de los trabajos de campo realizados en el lugar, así como en la zona del muelle, la información recabada permite elaborar un diagnóstico del estado actual de las instalaciones existentes y así emitir una propuesta para el proyecto.

Finalmente, la propuesta más viable será la construcción de un muelle soportado en pilas con una plataforma de concreto y protegida en la zona de atracaderos por

defensas de tipo elástico que absorban la energía producida por el ataque de las embarcaciones.

### 3.5 Diseño del muelle

Para el diseño de un muelle se considera el sismo, viento como en una estructura convencional así como fenómenos físicos como la marea, oleaje y la fuerza de ataque, los cuales fueron estudiados en el capítulo uno.

En el caso del muelle en análisis, no se considerarán los efectos de marea y oleaje ya que la isla cuenta con una protección natural.

#### 3.5.1. Datos de proyecto

En la siguiente tabla se presentan las características de la embarcación de diseño que se utilizarán para el análisis del muelle.

#### Embarcación de diseño

Peso Muerto	74 Ton.
Eslora	22 m
Manga	5.57 m
Calado	1.5 m
Desplazamiento	95 Ton.
Velocidad de ataque	4 mps

Tabla 3.8.- Características de embarcación de diseño

Los parámetros considerados para el diseño por sismo, se tomados del Manual de Obras Civiles de CFE, de acuerdo al estudio de mecánica de suelos realizado.

Coefficiente sísmico	0.86
Estructura tipo	B
Tipo de suelo	II
Velocidad de viento	120 kph

Tabla 3.9.- Parámetros de diseño

La estructuración del muelle se presenta en la siguiente imagen de planta, donde se aprecia la distribución de las pilas y de los tableros de losa, de la manera como se pretende realizar el análisis estructural.

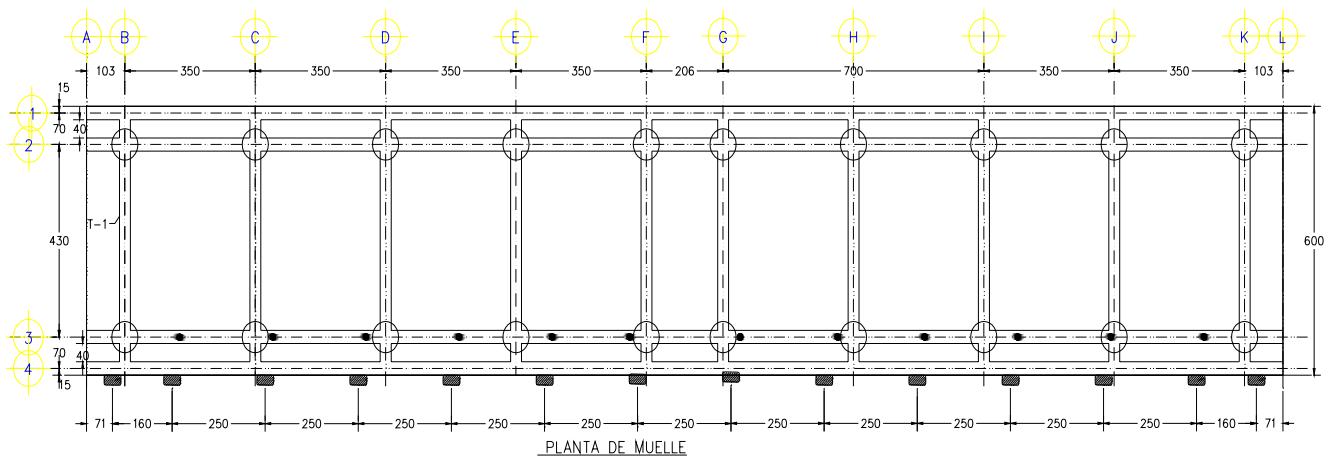


Figura 3.13.- Planta general del muelle

### Calculo de la Energía Normal de Atraque

Para el cálculo de la energía normal de atraque, se tomará como referencia el Manual de Dimensionamiento Portuario de la SCT.

La energía normal de atraque es la energía que se produce al hacer contacto la embarcación con el muelle y la cual deberá ser absorbida por las defensas. Las velocidades de atraque normalmente varían entre 150 y 300 m/seg, los ángulos de atraque están entre los  $5^{\circ}$  y  $15^{\circ}$ , dependiendo del tamaño de la embarcación.

Para el cálculo de esta energía se emplea la siguiente expresión:

$$E_N = 0.50M_D(V_A)^2 C_M C_E C_S C_C \dots\dots\dots 3.1$$

Donde:

$M_D$  = Desplazamiento de la embarcación (peso muerto) = 74 ton.

$V_A$  = Velocidad de aproximación de la embarcación = 0.40 m/seg.

**$C_M$  = Coeficiente de masa agregada o factor de masa hidrodinámica** que en cuenta la masa de agua que transporta la embarcación al desplazarse de costado en el agua, es decir, el impulso de agua acarreada continúa empujando contra la embarcación y esto en efecto aumenta su masa total.

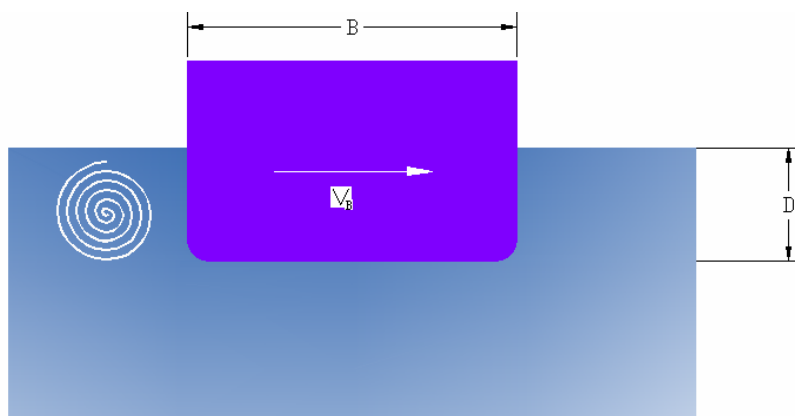


Figura 3.14.- Masa de agua transportada por la embarcación

**El coeficiente de masa agregada:** se calcula con la siguiente expresión:

$$C_M = \frac{M + M_V}{M} \dots\dots\dots 3.2$$

Donde:

M = Peso Muerto = 74 ton (desplazamiento en ton)

$M_V = \text{Masa virtual} = \rho L_{OA} (D)^2 \frac{\pi}{4}$ , donde

$\rho = 1.025$ . Densidad del agua de mar,

$L_{OA}$  = Eslora Entre perpendiculares.

D = Calado de la embarcación.

Por lo que substituyendo valores obtenemos que:

$$M_V = 1.025 \times 20 \times (1.7)^2 \times 3.1416 / 4 = 46.53 \text{ ton}$$

Por lo que:

$$M_V = 46.53 \text{ ton}$$

Sustituyendo valores en la expresión 3.2 obtenemos:

$$C_M = \frac{74 + 46.53}{74} = 1.63 \quad 3.2$$

**$C_E$  = Coeficiente de excentricidad:** toma en cuenta la energía disipada en la rotación de la embarcación, cuando el vector velocidad, aplicado al centro de gravedad no pasa por el punto de contacto, (figura 3.20).

La expresión para el cálculo de este coeficiente es:

$$C_E = \frac{K^2}{K^2 + R^2} \dots\dots\dots 3.3$$

Donde:

**K = Radio de rotación:** se define con la expresión

$$K = [(0.19)C_B + 0.11](L_{BP}) \dots\dots\dots 3.4$$

**C<sub>B</sub> = Coeficiente de bloque:** se define con la siguiente expresión:

$$C_B = \frac{M_D}{L_{BP}BD\rho_{SW}} \quad (\text{adimensional}) \dots\dots\dots 3.5$$

Donde:

M<sub>D</sub> = Desplazamiento de la embarcación en ton,

B = Manga de la embarcación,

D = Calado de la embarcación y

$\rho_{SW}$  es la densidad de agua de mar,

Sustituyendo valores en la expresión 3.4 obtenemos:

$$C_B = \frac{46.53}{20.0 \times 5.57 \times 1.5 \times 1.025} = 0.24 \dots\dots\dots 3.5$$

Así, se obtiene el valor del radio de rotación:

$$K = [0.19(0.24) + 0.11](20.00) = 3.11m \dots\dots\dots 3.4$$

**R = Distancia del centro de gravedad del buque al punto de impacto:**

expresión dada por:

$$R = \left[ \left( \frac{L_{BP}}{2} - X \right)^2 + \left( \frac{B}{2} \right)^2 \right]^{1/2} \dots\dots\dots 3.6$$

En donde se considera que:

$$X = \frac{L_{BP}}{4},$$

Donde:

$$L_{BP} = \text{Eslora entre perpendiculares} = 20.00 \text{ m}$$

Por lo tanto, el atraque se llevara a cabo a  $\frac{1}{4}$  de la eslora entre perpendiculares, es decir:

$X = 5\text{m}$ , por lo que al sustituir valores, R será igual a

$$R = \left[ \left( \frac{20}{2} - 5.0 \right)^2 + \left( \frac{5.57}{2} \right)^2 \right]^{1/2} = 5.73\text{m} \dots\dots\dots 3.6$$

y finalmente el coeficiente de excentricidad será es:

$$C_E = \frac{(3.11)^2}{[(3.11)^2 + (5.73)^2]} = 0.22$$

**C<sub>c</sub> = Coeficiente de configuración del muelle:** Toma en cuenta el efecto amortiguador del agua atrapada entre la embarcación y el muelle, de tal forma que como se trata de una estructura cerrada, se considera el margen de holgura bajo la quilla, el cociente entre el margen de holgura y el calado de la embarcación es mayor a 0.50, entonces el coeficiente de configuración del muelle valdrá:

$$C_C = 0.90$$

Comprobando lo anterior tenemos que:

$$K_C = 1.15\text{m}$$

$$D = 0.85 \text{ m}$$

Por lo que:

$K_c/D = 1.36 > 0.50$ , por lo tanto:

$C_c = 0.90$

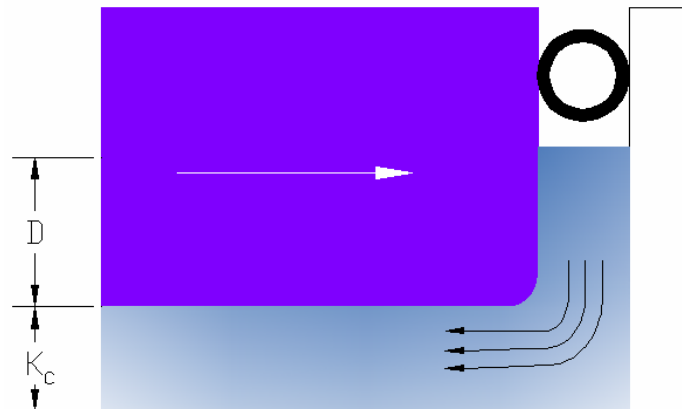


Figura 3.15.- Efecto amortiguador del agua atrapada entre la embarcación y el muelle.

Finalmente se tienen los datos necesarios para obtener el coeficiente de deformación  $C_S$ , con el que se toma en cuenta la energía absorbida por la deformación elástica del casco de la embarcación.

Cuando se utiliza una defensa blanda, definida por una deformación de más de 150 mm, el coeficiente de deformación no se toma en cuenta, pero para fines prácticos se considera que en el cálculo de las defensas,  $C_c = 1.00$ .

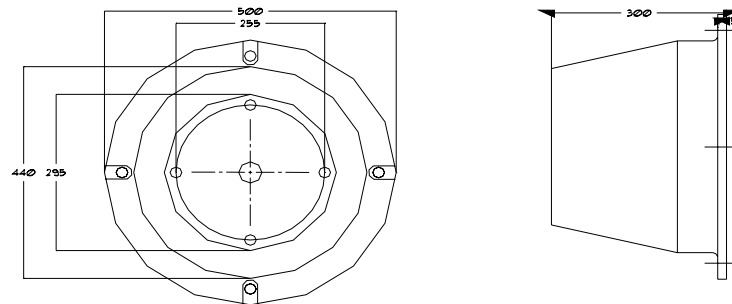
De la expresión; se tiene:

$$E_n = 0.5 \times 74 \times (0.40)^2 \times 7.90 \times 0.22 \times 0.90 \times 1.0.$$

$$E_n = 2 \text{ K}_N \cdot \text{m}$$

Para determinar la fuerza de ataque se requiere utilizar los manuales de defensas comerciales, en nuestro caso se utilizó el manual de FENTEK, resultando el modelo, **SCN-300**, con un índice energético de 0.90.

Del cual se tiene una energía de absorción de 0.78kg-m y una reacción de 0.60 ton.



SCN 300 SUPER CONE

Figura 3.16.- Defensa de atraque tipo cono.

DIMENSIONES DE LAS DEFENSAS SUPER CONE <sup>®</sup>											
Defensa	H	ØW	ØU	C	D	ØB	Anclaje	ØS	Cabeza del tornillo	Z	PESO (kg)
SCN 300	300	500	295	27-37	15	440	4-M20	255	4-M20	45	31
SCN 350	350	570	330	27-37	15	510	4-M20	275	4-M20	52	40
SCN 400	400	650	390	30-40	20	585	4-M24	340	4-M24	60	74
SCN 500	500	800	490	32-42	25	730	4-M24	425	4-M24	75	144
SCN 550	550	880	540	32-42	25	790	4-M24	470	4-M24	82	195
SCN 600	600	960	590	40-52	30	875	4-M30	515	4-M30	90	240
SCN 700	700	1120	685	40-52	35	1020	4-M30	600	4-M30	105	395
SCN 800	800	1280	785	40-52	35	1165	6-M30	685	6-M30	120	606
SCN 900	900	1440	885	40-52	35	1313	6-M30	770	6-M30	135	841
SCN 1000	1000	1600	980	50-65	35	1460	6-M36	855	6-M36	150	1120
SCN 1050	1050	1680	1030	50-65	40	1530	6-M36	900	6-M36	157	1360
SCN 1100	1100	1760	1080	50-65	40	1605	8-M36	940	8-M36	165	1545
SCN 1200	1200	1920	1175	57-80	40	1750	8-M42	1025	8-M42	180	1970
SCN 1300	1300	2080	1275	65-90	40	1900	8-M48	1100	8-M48	195	2455
SCN 1400	1400	2240	1370	65-90	50	2040	8-M48	1195	8-M48	210	3105
SCN 1600	1600	2560	1570	65-90	60	2335	8-M48	1365	8-M48	240	4645
SCN 1800	1800	2880	1765	75-100	60	2625	10-M56	1540	10-M56	270	6618
SCN 2000	2000	3200	1955	80-105	90	2920	10-M56	1710	10-M56	300	9560

Tabla 3.10.- Dimensiones de defensas tipo cono.  
Fuente: Catalogo FENTEK; Sistemas de defensas para muelles y barcos

Los anclajes están distribuidos de manera equidistante en el diámetro del círculo de agujeros.

El cálculo de los cortantes sobre los elementos resistentes se determina con la suma de los efectos debidos a la fuerza cortante de la plataforma que actúa al centro de torsión y el causado por el momento torsionante.

### Cálculo del cortante resistente debido a la fuerza sísmica.

Fuerza sísmica ( $F_s$ ) =  $F_s * \text{coef. Sis.} = 15.36 \text{ ton.}$

EJE	$K_{iy}$	$X_t \text{ (m)}$	$K_{iy} * X_t$	$K_{iy} * X_t^2$	$F_x$	$F_{tor}$	$F_{TOTAL}$
1	3.4	-16	-54.4	2959.36	1.536	0.8288	2.36482
2	3.4	-11	-37.4	1398.76	1.536	0.5698	2.10582
3	3.4	-7	-23.8	566.44	1.536	0.3626	1.89861
4	3.4	-3	-10.2	104.04	1.536	0.1554	1.6914
5	3.4	1	3.4	11.56	1.536	-0.0518	1.4842
6	3.4	3	10.2	104.04	1.536	-0.1554	1.3806
7	3.4	7	23.8	566.44	1.536	-0.3626	1.17339
8	3.4	11	37.4	1398.76	1.536	-0.5698	0.96618
9	3.4	13	44.2	1953.64	1.536	-0.6734	0.86258
10	3.4	16	54.4	2959.36	1.536	-0.8288	0.70718
SUMA	<b>34</b>			<b>12022.4</b>			

EJE	$K_{ix}$	$Y_t \text{ (m)}$	$K_{ix} * Y_t$	$K_{ix} * Y_t^2$	$F_x$	$F_{tor}$	$F_{TOTAL}$
1	7	-3	-21	441	7.68	0.06	7.68
2	7	3	-21	441	7.68	-0.06	7.62
SUMA	14			<b>882</b>			

Cortante en cada elemento:

$$F_{dir} = \frac{f_s x K_{iy}}{\sum K_{iy}} = 1.536 \text{ ton.}$$

Momento torsionante en dirección y.

$$M_{ty} = L * V_a * f_s. = 196.608 \text{ t-m}$$

Momento torsionante en dirección x.

$$M_{tx} = B * Va * fs. = 36.864 \text{ t-m}$$

Cortante torsionante.

$$F_{tor} = \frac{M_{ty}}{\sum K_{iy}X_t^2 + \sum K_{ix}Y_t^2} K_{iy}X_t =$$

$$\sum K_{iy}X_t^2 + \sum K_{ix}Y_t^2 = 12,904.4$$

### Calculo del cortante resistente debido a la fuerza de ataque

Energía de absorción = 0.78 t-m

Fuerza de ataque = 0.60 ton.

EJE	$K_{iy}$	$X_t$ (m)	$K_{iy} * X_t$	$K_{iy} * X_t^2$	$F_x$	$F_{tor}$	$F_{TOTAL}$
1	3.4	-16	-54.4	2959.36	0.06	0.0364	0.096
2	3.4	-11	-37.4	1398.76	0.06	0.025	0.085
3	3.4	-7	-23.8	566.44	0.06	0.0159	0.076
4	3.4	-3	-10.2	104.04	0.06	0.0068	0.067
5	3.4	1	3.4	11.56	0.06	-0.0023	0.058
6	3.4	3	10.2	104.04	0.06	-0.0068	0.053
7	3.4	7	23.8	566.44	0.06	-0.0159	0.044
8	3.4	11	37.4	1398.76	0.06	-0.025	0.035
9	3.4	13	44.2	1953.64	0.06	-0.0296	0.030
10	3.4	16	54.4	2959.36	0.06	-0.0364	0.024
SUMA	34			<b>12022.4</b>			

EJE	$K_{ix}$	$Y_t$ (m)	$K_{ix} * Y_t$	$K_{ix} * Y_t^2$	$F_y$	$F_{tor}$	$F_{TOTAL}$
1	7	-3	-21	441	0.3	0.0007	0.301
2	7	3	21	441	0.3	0.0002	0.300
SUMA	14			<b>882</b>			

Cortante en cada elemento:

$$F_{dir} = \frac{F_{ax} K_{iy}}{\sum K_{iy}} = 0.06 \text{ ton.}$$

Momento torsionante en dirección y.

$$M_{ty} = L * V_a * f_s. = 8.64 \text{ t-m}$$

Momento torsionante en dirección x.

$$M_{tx} = B * V_a * f_s. = 2.88 \text{ t-m}$$

Cortante torsionante.

$$F_{tor} = \frac{M_{ty}}{\sum K_{iy} X_t^2 + \sum K_{ix} Y_t^2} K_{iy} X_t =$$

$$\sum K_{iy} X_t^2 + \sum K_{ix} Y_t^2 = 1,2904.4$$

### Calculo de fuerza de viento

Los parámetros para este cálculo se tomaron del Manual de Dimensionamiento Portuario de la SCT.

Vel. de Viento                      120      km/h  $\Rightarrow$  33.36 m/s

Coef. Empírico K= 1.4

Área neta de varilla .expuesta al viento,  $A_n = 90 \text{ m}^2$

Presión de viento q:

$$q = \frac{U^2}{16} = \frac{33.36^2}{16} =$$

$$q = 69.56 \text{ kg/m}^2$$

Fuerza de viento (Fv)

$$F_v = kA_n q = 1.4 * 90 * 69.56 =$$

$$F_v = 8764.01 \text{ kg.}$$

$$F_v = 8.7 \text{ ton.}$$

### Calculo del cortante resistente debido a la fuerza por viento.

Fuerza de viento = 8.7 ton.

EJE	$K_{iy}$	$X_t$ (m)	$K_{iy} * X_t$	$K_{iy} * X_t^2$	$F_x$	$F_{tor}$	$F_{TOTAL}$
1	3.4	-16	-54.4	2959.36	0.876	0.528	1.404
2	3.4	-11	-37.4	1398.76	0.876	0.363	1.239
3	3.4	-7	-23.8	566.44	0.876	0.231	1.107
4	3.4	-3	-10.2	104.04	0.876	0.099	0.975
5	3.4	1	3.4	11.56	0.876	-0.033	0.843
6	3.4	3	10.2	104.04	0.876	-0.099	0.777
7	3.4	7	23.8	566.44	0.876	-0.231	0.645
8	3.4	11	37.4	1398.76	0.876	-0.363	0.514
9	3.4	13	44.2	1953.64	0.876	-0.429	0.448
10	3.4	16	54.4	2959.36	0.876	-0.528	0.349
SUMA	<b>34</b>			<b>12,022.4</b>			

EJE	$K_{ix}$	$Y_t$ (m)	$K_{ix} * Y_t$	$K_{ix} * Y_t^2$	$F_y$	$F_{tor}$	$F_{TOTAL}$
1	7.4	-3	-22.2	492.84	4.3820028	0.072	4.454
2	7.4	3	22.2	492.84	4.3820028	-0.072	4.310
SUMA	<b>14.8</b>			<b>985.68</b>			

Cortante en cada elemento:

$$F_{dir} = \frac{f_{viento} K_{iy}}{\sum K_{iy}} = 0.876 \text{ ton.}$$

Momento torsionante con respecto al eje y.

$$M_{ty} = L * V_a * f_s. = 126.202 \text{ t-m}$$

Momento torsionante con respecto al eje x.

$$M_{tx} = B * V_a * f_s. = 42.067 \text{ t-m}$$

Cortante torsionante:

$$F_{tor} = \frac{M_{ty}}{\sum K_{iy} X_t^2 + \sum K_{ix} Y_t^2} K_{iy} X_t =$$

$$\sum K_{iy} X_t^2 + \sum K_{ix} Y_t^2 = 13,008.08$$

De los resultados de los cortantes resistentes para las tres fuerzas accidentales tenemos que la fuerza por sismo es la más desfavorable.

### 3.5.2. Diseño de cimentación

El principal objetivo de una cimentación es transmitir las cargas de una estructura a los estratos resistentes del subsuelo, en forma estable y con asentamientos estables durante su vida útil

La cimentación se diseñara de acuerdo a los parámetros marcados en las NTC del D.F y los parámetros sísmicos del Manual de Obras Civiles de CFE.

La elección del tipo más adecuado de cimentación en cada caso particular, debe hacerse teniendo en cuenta los siguientes factores:

- \* La magnitud y distribución de las cargas de la estructura, así como sus dimensiones y rigidez.
- \* El perfil estratigráfico del terreno de apoyo, la resistencia, compresibilidad y permeabilidad de los materiales que forman cada uno de los estratos del perfil del subsuelo.

De acuerdo a la recomendación de mecánica de suelos, el cálculo del nivel de desplante de las pilas se determinara como se explico anteriormente

La cimentación del muelle de la Isla de La Roqueta estará desplantada sobre un estrato de granito a una profundidad de desplante calculada con las descargas obtenidas del análisis.

La carga máxima permisible se obtendrá mediante la expresión siguiente:

$$Q_a = 29.3D^2 + 3.8D$$

$$Q_a = 29.3(0.7)^2 + 3.8(0.7) = 17.1 \text{ ton.}$$

Los resultados obtenidos del análisis nos dan una descarga de 15.5 ton.

$$Q_a = 17.1 \text{ ton.} > Q = 15.5 \text{ ton.}$$

Por lo tanto los esfuerzos sobre el subsuelo se encuentran por debajo de los esfuerzos máximos permisibles.

### 3.5.2.1. Pilas

Las pilas son elementos de cimentación profunda con secciones mayores que los pilotes, transmiten las cargas al subsuelo provenientes de una estructura, así como de la misma cimentación para lograr la estabilidad del conjunto.

Las pilas son fabricadas directamente en el subsuelo; los esfuerzos transmitidos al subsuelo son exclusivamente de compresión, Se pueden fabricar de cualquier material que tenga la resistencia requerida, las características de los estratos definirán el material que deberá emplearse para la fabricación de las pilas.

Para el caso que nos ocupa, se utilizará concreto premezclado con una resistencia nominal de  $350 \text{ kg/cm}^2$  reforzado con varillas corrugadas.

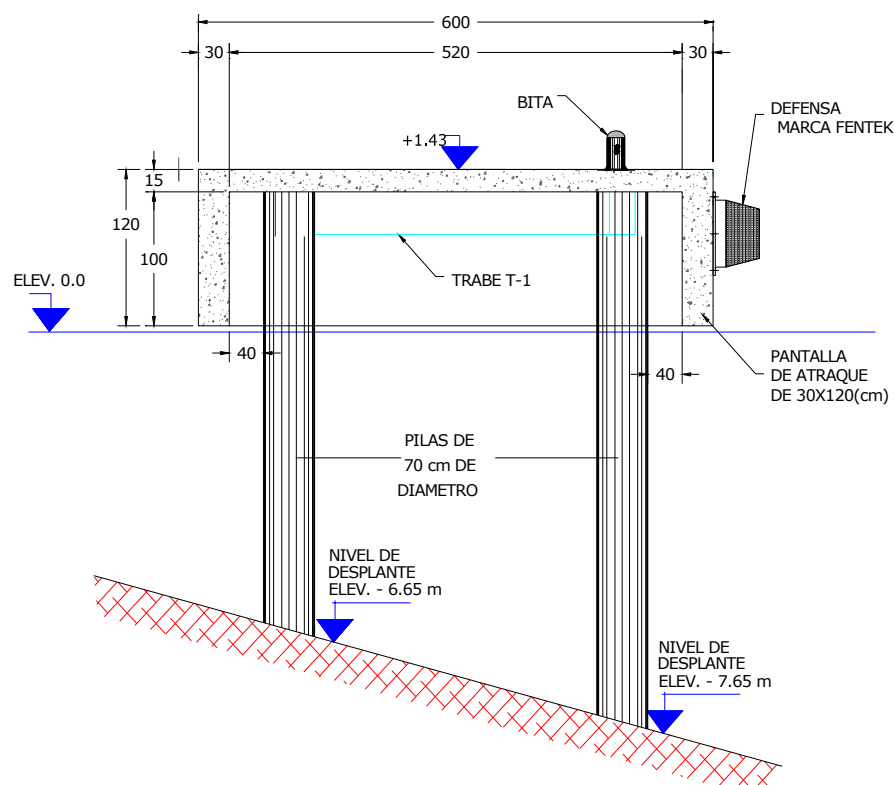


Fig. 3.17.- Corte Transversal del muelle

La subestructura del muelle estará constituida por pilas de 70 cm de diámetro, desplantadas desde nivel -665 y -765 cm del suelo marino, como se muestra en la figura anterior.

Las cargas para análisis y diseño más desfavorables de los diferentes elementos estructurales, se determinaron de acuerdo con las siguientes combinaciones:

1).- Carga muerta, compuesta por el peso propio de la estructura

2).- Carga viva máxima, 500 kg/m<sup>2</sup> de acuerdo con los requerimientos de API Acapulco.

3).- Coeficiente sísmico de 0.86, zona A de acuerdo al Manual de Diseño por Sismo CFE.

Para el análisis se establecieron las combinaciones de carga que pudieran afectar a la estructura, siendo estas:

- En el sentido transversal se hizo la combinación de carga muerta + carga viva + fuerza de atraque.
- En el sentido transversal y longitudinal se hizo la combinación de carga muerta + carga viva + fuerza de viento.
- En el sentido transversal y longitudinal se hizo la combinación de carga muerta + carga viva + fuerza de sismo.

De acuerdo a las combinaciones anteriores se obtuvieron los elementos mecánicos que se muestran a continuación.

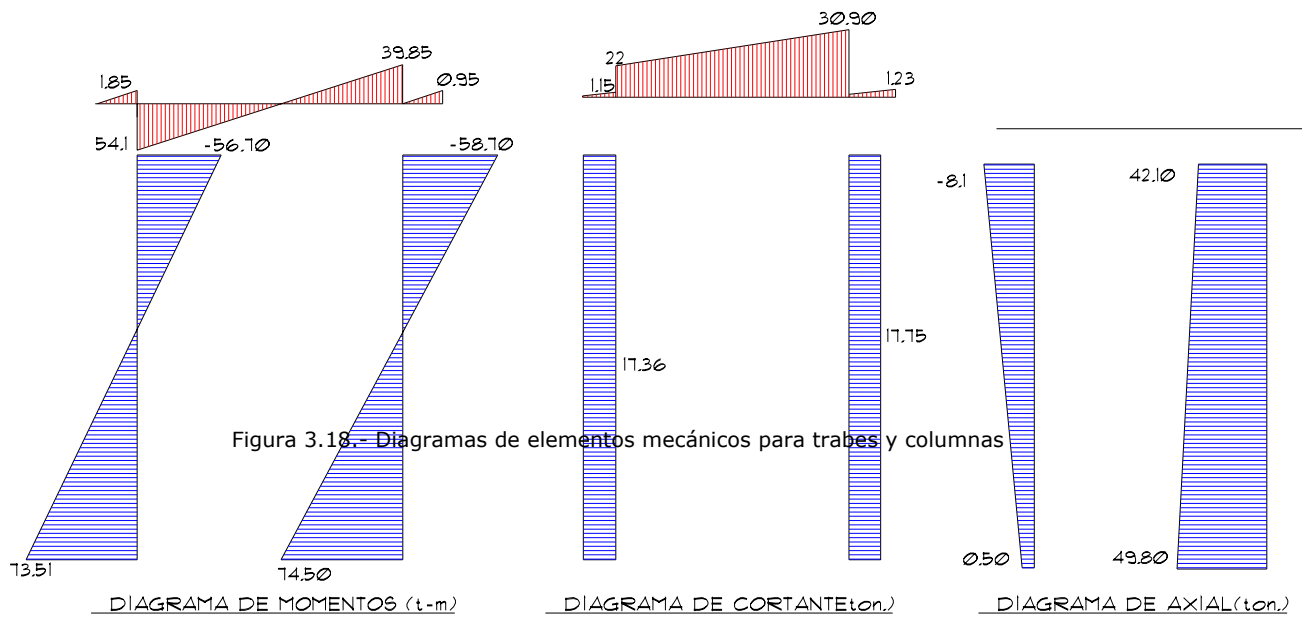


Figura 3.18.- Diagramas de elementos mecánicos para traves y columnas

### Diseño de pilas

Para el diseño de las pilas se considero la siguiente combinación por ser la más desfavorable de acuerdo a los parámetros mencionados en las NTC para concreto del D.F.

(CM + CVmax. + Sismo).

### Constantes para resistencia de concreto y acero.

$$f^*_c = 0.8f'_c \quad f''_c = 0.85xf^*_c$$

$f'_c$ kg/cm <sup>2</sup>	$f^*_c$ kg/cm <sup>2</sup>	$f''_c$ kg/cm <sup>2</sup>
350	280	238

$f_y$ kg/cm <sup>2</sup>	$F_R$
4200	0.8

DATOS :

$$M_u = 91.84 \text{ T-m}$$

$$P_u = 17.61 \text{ Ton.}$$

**Dimensionamiento por flexocompresión**

Longitud	Diámetro			
	D	r	d=D-2r	d/D
cm	cm	cm	cm	
750	70	3.50	63	0.9 *con este valor se uso la figura del apéndice

$$K = P_u / (FRD^2 f'c) = 0.022$$

Donde:

$$FR = 0.7$$

$$q = 0.55$$

$$R = M_u / (FRD^2 f'c) = 0.001$$

**Porcentaje de acero**

$$\rho = q f'c / f_y = 0.03117$$

$$A_c = \pi d^2 / 4 = 3848.45 \text{ cm}^2$$

$$A_c f'c = 915.931 \text{ ton}$$

**Área de acero**

$$A_s = \rho \pi D^2 / 4 = 119.94 \text{ cm}^2$$

Usar 14 # 12       $A_s = 126 \text{ cm}^2$

### Refuerzo transversal

Considerando estribos (E) del # 3       $a_s = 0.71 \text{ cm}^2$

$s = 850d_b/\text{raíz}(f_y) @ 16 \text{ cm.}$

E # 3 @ 15 cm

### Revisión por cortante

$0.7 \cdot F_c \cdot A_g + 200A_s = 776464.848 \text{ Kg.} > P_u = 17,612.00 \text{ kg}$

$p = A_s/bd = 0.01777888$

Esf. Cortante Resist.  $V_{cr} = 21532.99 \text{ kg}$

### Separación de estribos

$S = 15 \text{ cm}$

$S = 15 < d/2 = 35 \text{ cm}$

### 3.5.2.2. Pilotes

Los pilotes al igual que las pilas son elementos que transmiten al subsuelo las cargas provenientes de la estructura y de la misma cimentación.

A diferencia de las pilas, los pilotes pueden ser elementos esbeltos (diámetro menor de 0.60m).

Los pilotes son prefabricados y también se pueden construir de cualquier material que satisfaga las necesidades del proyecto.

Para efectos de este trabajo solamente se mencionan los pilotes como un tipo de subestructura que se emplea como otra alternativa de cimentación en estructuras convencionales.

### 3.5.3. .-Diseño de la Superestructura

El muelle estará conformado por tableros de losa de 350cmx480cm. Los cuales estarán apoyados perimetralmente en traveses de 30x65 cm, para el diseño de la losa se considero uno de los tableros centrales en los cuales se concentra mayor carga.

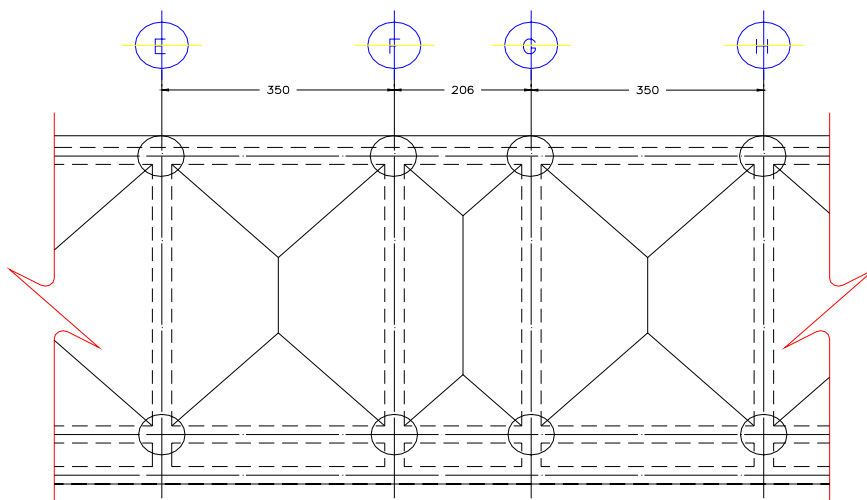


Figura 3.19.- Áreas tributarias en losas.

los parámetros de diseño para las losas son de acuerdo a las NTC para concreto del D.F, y las cargas utilizadas para su diseño son las siguientes:

### ESPECIFICACIÓN DE CARGA

	$\gamma$ [ton/m <sup>3</sup> ]	Espesor [m]	W [t/m <sup>2</sup> ]
Losa e=15cm	2.4	0.150	0.360
Firme acabado	2.4	0.050	0.120
Carga muerta adicional (MDP)			0.040
Total Carga muerta			0.520
			CM + CV [t/m <sup>2</sup> ]
Carga viva gravitacional (MDP)			0.500
Carga viva accidental			0.300
			1.020
			0.820

### Constantes de cálculo.

$$f'_c = 350 \quad \text{kg/cm}^2$$

$$f^*_c = 280 \quad \text{kg/cm}^2$$

$$f''_c = 238 \quad \text{kg/cm}^2$$

$$f_y = 4200 \quad \text{kg/cm}^2$$

Por lo tanto la carga total es:

$$W_T = 1012 \quad \text{Kg/m}^2$$

### Cálculo del peralte mínimo

$$d_{\min.} = \text{Perímetro}/250 = 2075/250 = 8.30 \text{ cm.}$$

$$\text{Factor de corrección del perímetro} = .032 (\text{raíz } 4 (.6fyw)) = 1.279$$

$$d = d_{\min.} \times \text{Factor} = 10.61 \text{ cm.}$$

$$d \text{ redondeado } h + r = 14.5 \text{ cm.} \quad r = 3.5$$

$$h = d + r = 15 \text{ cm.}$$

$$W_u = W_T \times 1.4 = 1416.8 \text{ Kg/m}^2$$

### Calculo de momentos

$$10^{-4} W_u a_1^2 = 1.73558 \text{ Kg-m} \quad m = a_1/a_2 = 0.729$$

Determinación del refuerzo para un ancho de  $b = 100 \text{ cm}$

$$P_{\min.} = 0.002 \quad S_{\max.} = 50 \text{ cm ó } 3.5h = 50 \text{ cm}$$

$$FRbd^2f'_c (\text{Acero } +) = 4, 503.56$$

$$FRbd^2f'_c (\text{Acero } -) = 3, 346.875$$

M	Claro	$\gamma_i$	$M_i$	$M_i/FRbd^2f'_c$	q	$p=qf'_c/f_y$	As	Var #	Num V.	Sep
		□	Kg/m				cm <sup>2</sup>			cm
-	Corto	471	817.46	0.024	0.055	0.0031	4.52	3	6	20
-	Largo	429	744.56	0.022	0.05	0.0028	4.11	3	6	20
-	Corto	277	480.76	0.014	0.02	0.0020	2.90	3	4	20
-	Corto	236	409.60	0.012	0.035	0.0020	2.90	3	4	20
+	Largo	259	248.40	0.005	0.007	0.0020	3.54	3	5	20
+	Largo	142	250.15	0.005	0.005	0.0020	3.54	3	5	20

**Es conveniente usar var. #3 @20**

### Revisión de cortante

$$V_u = (a_1/2-d)W_u / [ 1 + (a_1/a_2)^6 ] = 1976.84$$

$$V_R = 0.5 \times FR_b d (\text{Raíz}(f^*c)) = 9705.26 \quad V_R > V_u$$

Como el cortante resistente es mayor al cortante ultimo entonces utilizamos el valor de  $V_R$

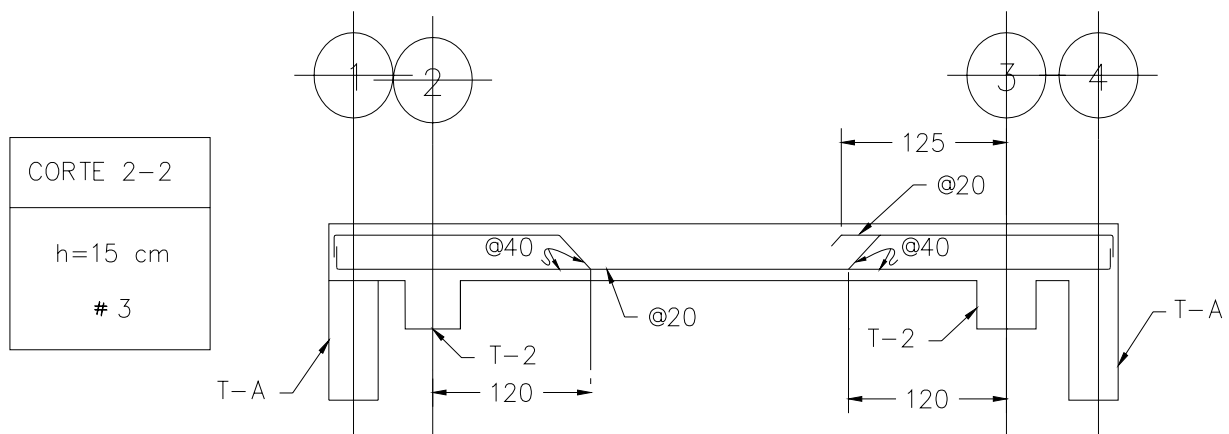


Figura 3.20.- Corte transversal de armado en losas.

### Diseño de traves

Para el diseño de las traves se obtuvo la combinación más desfavorable que resulto ser.

(CM +Cmax. +sismo).

Y la sección de trabe elegida trabajara como sección doblemente armada de acuerdo a las NTC para concreto del D.F, es decir con acero de compresión

**DATOS:****Elementos mecánicos**

Mu= 27 t-m

Pu= 12 t-m

**Geometría****Constante de calculo**

b	h	d	d'	f' <sub>c</sub>	f* <sub>c</sub>	f'' <sub>c</sub>	f <sub>y</sub>
cm	cm	cm	cm	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
30	65	58	7	350	280	238	4200
F <sub>R</sub>	r	E <sub>s</sub>	E <sub>c</sub>	F <sub>R</sub>			
	cm	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>				
0.9	7	2000000	261916	0.8			

**Calculo del porcentaje de acero balaceado, P<sub>b</sub>**

$$P_b = f'_c / f_y * 4800 / (f_y + 6000) = 0.026667$$

**Calculo del porcentaje de acero máximo, P<sub>max</sub>**

$$P_{max} = 0.75P_b = 0.02$$

**Calculo del porcentaje de acero mínimo, P<sub>min</sub>**

$$P_{min} = 0.7 * (f'_c)^{1/2} / f_y = 0.003118$$

$$q_{\max.} = P_{\max} * f_y / f'_c = 0.352941$$

### Resistencia nominal requerida

$$M_n = M_u / \phi = 30 \text{ t-m}$$

### Calculo del momento resistente

$$M_R = F_R b d^2 f'_c q (1 - 0.5q)$$

$$M_R = 62.83160471 \text{ t-m}$$

### Calculo del refuerzo a compresión

Calculo a  $A_s$  y  $A'_s$

Suponiendo que  $A'_s$  fluye

$$M_{R2} = M_n - M_R = -3283160 \text{ kg-m.}$$

$$C_a = M_{R2} / (d - d') = -64375.7 \text{ kg.}$$

$$A' = C_a / (f_y - 0.85 * f'_c) = -16.496 \text{ cm}^2$$

$$A_{s\max} = P_{\max} b d = 34.8 \text{ cm}^2$$

$$A_s = A_{s\max} + A'$$

### Acero propuesto a tensión

$$A_s = 18.30398578 \text{ cm}^2 \quad \mathbf{a \text{ tension}}$$

$$4 \text{ var. \# 8} \quad a_s = 20.27 \text{ cm}^2 \text{ requerida}$$

$$A' = 16.49601422 \text{ cm}^2 \quad \mathbf{a \text{ compresión}}$$

$$6 \text{ var. \#6} \quad a_s = 17.10 \text{ cm}^2 \text{ requerida}$$

### Calculo de fuerza cortante

$$\text{Esfuerzo Cortante} = 6.90 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_u * 1000 / (b * d)$$

$$\text{Esf. Cortante Resist. } V_{cr} = 8.03 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Diámetro \# 3 As Estribos.} = 0.71$$

$$\text{Esf. que toman los estribos} = 3.50 \text{ kg/cm}^2$$

$$A_v = 1.43 \text{ cm}^2$$

$$\text{Separación de estribos} = 22.60 \text{ cm}$$

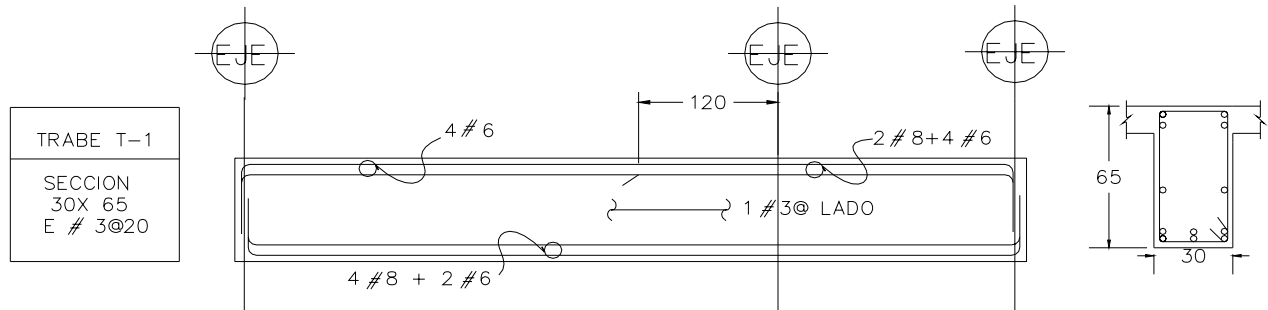


Figura 3.21.- Corte transversal de trabes.

### Diseño de Bitas.

Las bitas son los denominados elementos de amarre para las embarcaciones, que se instalan en la superficie del muelle y su diseño consiste en determinar su tipo, capacidad, cantidad y ubicación dentro del muelle, siendo la fuerza que interviene en estos casos la debida al viento, la cual tratara de despegar la embarcación del muelle en espigón

La presión del viento, debe considerarse aplicada perpendicularmente sobre el área expuesta de la embarcación en condiciones totalmente descargada y actuando tanto transversalmente como longitudinalmente.

$$F_v = kA_n q$$

Donde:

$F_v$  = Fuerza del viento contra la superficie expuesta en Kg.

$k$  = Coeficiente empírico que considera los efectos de las presiones del viento, directa y de sotavento (1.2 como mínimo, 1.4 normal).

$A_n$  = Área neta de la embarcación normal a su eje longitudinal, expuesta al viento ( $m^2$ )

$q = U^2/16$  (Presión ejercida por el viento),

$U$ , es la velocidad de viento en m/seg.

De acuerdo a los datos obtenidos, la velocidad de viento es de 120 KPH debido a que se considera que es una zona II y se encuentra dentro del grupo A.

$U = 120 \text{ km/h} = 33.36 \text{ m/seg.}$

Coef. Emp  $K = 1.4$

$$F_v = k A_n q =$$

$$q = \frac{U^2}{16} = 69.5556 \text{ m/seg}$$

$$A_n = 38.4 \text{ m}^2$$

por lo que la fuerza del viento es:

$$F_v = k A_n q = 3739.31 \text{ kg.}$$

$$F_v = 3.74 \text{ ton.}$$

Considerando 12 bitas

$$F_{\text{unitaria}} = 311.60 \text{ Kg./u}$$

De acuerdo al tipo de bita seleccionada y mostrada en la figura, estará formada por tubo de acero estructural A-36 de  $f_y = 2,530 \text{ kg/cm}^2$ , hueco, cedula 40 y de 20 cm de diámetro comercial.

A su vez la bita se anclara a la losa del muelle por medio de 4 anclas de acero de refuerzo de  $\frac{1}{2}$ " de diámetro, unidas por medio de una placa estructural, y coladas posteriormente con concreto de  $f'_c$  de  $150 \text{ kg/cm}^2$ , para darle la rigidez requerida en este tipo de elemento de amarre.

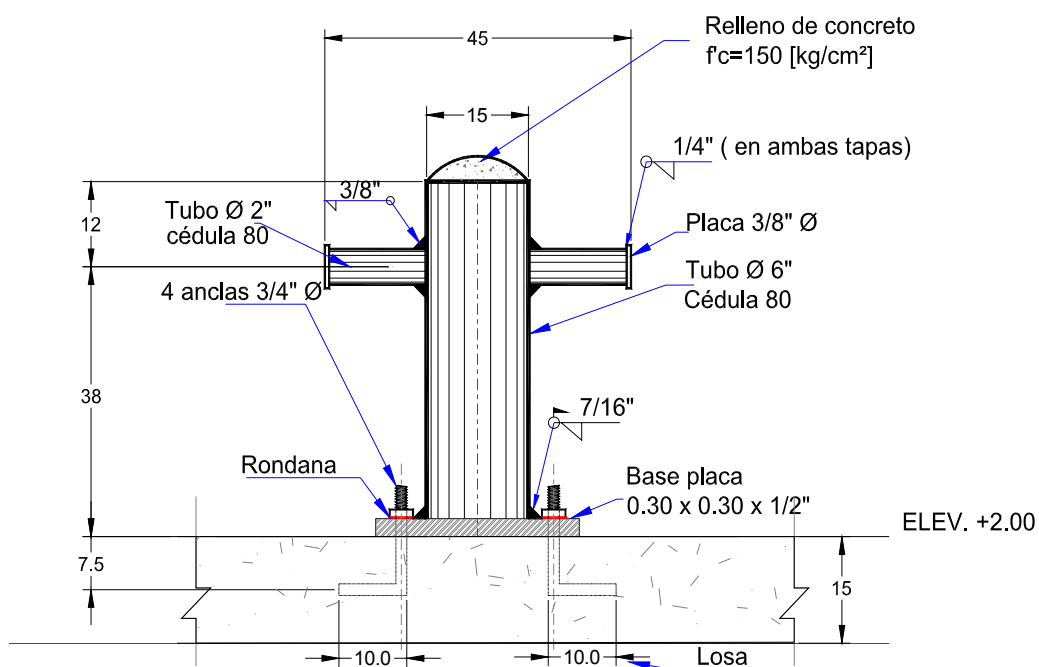


Figura 3.22.- Detalle de Bita

### 3.6 Catálogo de Conceptos, Especificaciones Generales y Particulares de Construcción

#### *Catálogo de Conceptos*

Para efectos de este trabajo de tesis se consideran los siguientes conceptos, teniendo en cuenta que en la práctica el desglose deberá ser mucho más detallado.

#### SUBESTRUCTURA

<b>SUBESTRUCTURA</b>		<b>UNIDAD CANTIDAD</b>	
1	Trazo y nivelación del terreno para desplante de estructuras	m <sup>2</sup>	192.
2	Acero de refuerzo en pilas 14 # 12 por pza. de $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ , incluye: habilitado, cortes, dobleces, traslapes, amarres, separadores, colocación, desperdicios, mano de obra, equipo y herramienta y todo lo necesario para la correcta ejecución de los trabajos P.U.O.T.	ton	64.67
3	Acero de refuerzo # 3, $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ , incluye: habilitado, cortes, dobleces, traslapes, amarres, separadores, colocación, desperdicios, mano de obra, equipo y herramienta y todo lo necesario para la correcta ejecución de los trabajos P.U.O.T.	ton	0.169
4	Suministro y colocación de concreto en pilas de $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ , incluye: cimbra y descimbra, curado, vibrado, mano de obra, equipo y herramienta, acarreo y todo lo necesario para la correcta ejecución de los trabajos. P.U.O.T.	m <sup>3</sup>	52.72

## Superestructura

<b>SUPERESTRUCTURA</b>		<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>
5	Acero de refuerzo # 8, $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ , incluye: habilitado, cortes, dobleces, traslapes, amarres, separadores, colocación, desperdicios, mano de obra, equipo y herramienta y todo lo necesario para la correcta ejecución de los trabajos.	ton	2.45
6	Acero de refuerzo # 6, $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ , incluye: habilitado, cortes, dobleces, traslapes, amarres, separadores, colocación, desperdicios, mano de obra, equipo y herramienta y todo lo necesario para la correcta ejecución de los trabajos.	ton	3.15
7	Acero de refuerzo # 3, $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ , incluye: habilitado, cortes, dobleces, traslapes, amarres, separadores, colocación, desperdicios, mano de obra, equipo y herramienta y todo lo necesario para la correcta ejecución de los trabajos.,	ton	1.16
8	Suministro y colocación de concreto de $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$ , en trabes, incluye: acabado, cimbra y descimbra, curado, vaciado, vibrado, acarreo, mano de obra, equipo y herramienta y todo lo necesario para la correcta ejecución de los trabajos.	$\text{m}^3$	46.20
9	Suministro y colocación de concreto de $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$ , en losa, incluye: acabado, cimbra y descimbra, curado, vaciado, vibrado, acarreo, mano de obra, equipo y herramienta y todo lo necesario para la correcta ejecución de los trabajos.	$\text{m}^3$	17.28
10	Firme de concreto premezclado de $200 \text{ kg/cm}^2$ , con acabado estampado con color incluye: cimbra, descimbra, desperdicios, vaciado, vibrado, curado, laboratorio, mano de obra, equipo, herramienta, y todo lo necesario para la correcta ejecución de los trabajos.	$\text{m}^2$	5.76

<b>EQUIPO DE AMARRE Y ATRAQUE</b>		<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>
11	Suministro y colocación de bita, consistente de tubo de acero CED 80 de 8" de diámetro y una longitud de 0.40 m y un tramo horizontal de acero de CED 80 de 2" de diámetro, de 0.35 m de longitud, incluye: trazo, corte, nivelación, relleno de concreto de $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ 4 anclas de 3/4" de diámetro x 0.30 m de longitud con tuerca, aplicación de primario inorgánico y pintura epóxica, desperdicios, mano de obra, equipo herramienta y todo lo necesario para la correcta ejecución de los trabajos.	Pza.	12
12	Suministro y colocación de defensas tipo cono con eficiencia del 90%, incluye: habilitado, colocación, accesorios, mano de obra, equipo y herramienta y todo lo necesario para su correcta ejecución de los trabajos.	Pza.	13
13	Suministro y aplicación de pintura reflejante anticorrosiva en paramento de atraque, incluye: mano de obra, equipo y herramienta y todo lo necesario para la correcta ejecución de los trabajos.	$\text{m}^2$	67.04

### **3.7 Integración de información básica del proyecto para elaborar el estudio de impacto ambiental**

La manifestación de impacto ambiental es una herramienta preventiva y de planeación que permite identificar los efectos negativos que cualquier obra o actividad puede ocasionar sobre el medio ambiente. Además, facilita a la autoridad ambiental, a tomar una decisión sobre la factibilidad ambiental de un proyecto y señalar las medidas preventivas que minimicen dichos efectos negativos.

La Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) en el Artículo 28, que a la letra dice: "La evaluación del impacto ambiental es el procedimiento a través del cual se establecen las condiciones a que se sujetará la realización de obras y actividades públicas o privadas que puedan causar desequilibrio ecológico o rebasar los límites y condiciones establecidos en las disposiciones aplicables para proteger el ambiente y preservar y restaurar los ecosistemas, a fin de evitar o reducir al mínimo sus efectos negativos".

Este ordenamiento es obligatorio para cualquier tipo de obra que involucre la transformación del medio ambiente, por lo en actividades que correspondan a asuntos de competencia federal, que puedan causar desequilibrios ecológicos graves e irreparables, daños a la salud pública o a los ecosistemas, o rebasar los límites y condiciones establecidos en las disposiciones jurídicas relativas a la preservación del equilibrio ecológico y la protección del ambiente.

La constructora encargada estará obligada a implementar un plan de salubridad para los trabajadores que estén implicados dentro del proyecto, así como un estudio de calidad durante el periodo en que se estén llevando a cabo los trabajos.

Dentro del plan de salubridad y calidad se deberá contemplar, limpieza de las áreas de trabajo, supervisión en el vaciado de concreto cuidando que no se derrame dentro del mar, evitando una posible contaminación de los recursos naturales.

Para este caso se deberá tomar en consideración que hay algunas especies de coral que deben ser reubicadas puesto que los movimientos de maquinaria, materiales de construcción y posibles derrames de concreto u otras sustancias pueden afectar gravemente este ecosistema

**Impactos:**

- 1.- Descargas    aguas Residuales  
    Origen,        200 litros/persona/día
  
- 2.- Derrames posibles de concreto
  
- 3.- Daños en especie de coral por maquinaria

**Formas de mitigación**

- 1.- Servicio Sanitario y envió de aguas residuales a planta de tratamiento
  
- 2.- Implementar sistemas de contención local, en los colados masivos
  
- 3.- Reubicación de coral

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 4.1 Conclusiones

Las vías de comunicación en México juegan un papel de primordial importancia en el crecimiento y desarrollo social y económico, por lo que es necesario que las instituciones inviertan en la construcción y mantenimiento de infraestructura de este tipo.

En el tesis esta enfocado principalmente a mostrar el proceso que debe seguirse en la planeación y ejecución de un proyecto real de ingeniería y las diferentes disciplinas que intervienen en la conceptualización del mismo, a fin de que sea útil y económico, cumpliendo con los objetivos para los que fue concebido,

Las variables físicas caso de la infraestructura marítima, su importancia nacional, está relacionada con sectores tales como el comercio, la industria el turismo. Por ello es necesario apoyarse en estudios, estadísticas y experiencias anteriores que permitan modelar las solicitudes a las que se verán sometida la obra a proyectar.

Un problema latente al que nos enfrentamos, fue la falta de información reciente y confiable que nos pudiera servir, muchos de los datos con los que se cuentan fueron obtenidos mediante tecnología y métodos muy viejos, por lo que consideramos debe ser atendido por las instituciones federales y privadas para la obtención de nueva tecnología y nuevos métodos que permita la medición de los fenómenos físicos con mayor exactitud, y así poder tener menor incertidumbre en el diseño de las estructuras no solo portuaria si no en general de cualquiera. Esto nos permitirá optimizar los costos en la construcción de nueva infraestructura.

La propuesta analizada en este trabajo de tesis obedece principalmente a que en México no se tiene la cultura del mantenimiento de la infraestructura, este es un factor muy importante en la toma de decisión del tipo de estructura a emplear, las estructuras en acero como en madera o así también estructuras como elementos prefabricados, tienen un costo inicial bajo a comparación de estructuras de concreto,

pero a largo plazo se convierten en construcciones caras ya que se debe considerar un monto para mantenimiento, que en su vida útil deberá tener.

Así también las estructuras en acero y madera requieren de mano de obra más calificada que una tradicional debido a que sus procedimientos constructivos son más sofisticados y deben garantizar que la estructura cumpla las especificaciones del diseño.

Estudios y estadísticas de los fenómenos físicos como viento, oleaje, mareas, sismicidad y corrientes; son recopilados en publicaciones extranjeras, así como en instalaciones nacionales como la SCT, y CFE, encargadas de manejar información especializada como es el caso de INEGI y el CICESE. Estos datos han proporcionado la información necesaria para considerar las estructuralmente, de cargas para y efectos que se presentarán.

De esta manera para la determinación de las cargas que rigieron el diseño del muelle, fue necesario obtener el cortante resistente para cada uno de los fenómenos antes mencionado, según el análisis descrito de las condiciones de carga a las que se someterá la estructura. Se ha considerado que el oleaje en este caso específico, es de muy poca consideración, debido a que el lugar de interés se encuentra en una zona de calma ubicada entre la isla de La Roqueta y la zona de Caleta en el Puerto de Acapulco. Aunque hay oleaje producido por la agitación de las embarcaciones que pasan cerca del sitio de proyecto, su efecto no es significativo, por lo que los factores de diseño absorben esas ligeras cargas.

Por el contrario, el diseño del muelle tomó la carga producida por sismo como el caso más desfavorable, debido a que la zona es un lugar de conocido riesgo sísmico. Dada esta situación, se eligieron los coeficientes propuestos por la Comisión Federal de Electricidad en su Manual de Obras Civiles los cuales corresponden a un coeficiente sísmico  $c=0.28$  y el factor de ductilidad  $Q=2$  para una estructura del grupo B.

La protección del muelle es un aspecto importante tanto para prolongar su vida útil, como para su diseño. La defensa de atraque es un accesorio absorberá parte de la energía que la embarcación de diseño ejercería sobre el muelle, por lo que no solamente protege a la estructura y a a embarcación contra impactos entre ambas sino qué su rigidez esta en función de la cantidad de energía absorbida para reducir el impacto. La eficiencia de la defensa deberá estar entre el 50 y 60% de la energía absorbida.

Este tipo de protección esta considerado para varios tipos de embarcaciones y cargas. La elección del tipo a utilizar, está en función no solo de las cargas, sino también del tipo de embarcación, por lo que para determinar cual es la más conveniente, se obtuvo una energía de absorción de 0.78 kg.m, un índice energético de 0.90 y una reacción de 0.60 ton.

El muelle que se trabajo tiene las siguientes características generales:

La cimentación consta de una cimentación a base de pilas 7 metros de longitud empotrada y un diámetro de 70 cm. Y empotradas 60 cm. dentro del estrato resistente (capa de granito), para garantizar la correcta funcionalidad de la estructura en su conjunto.

Las pilas se armaran con 14 varillas del número 12 de acero  $F_y$  de 4200 kg/cm<sup>2</sup>, y un concreto  $f'_c=350$  kg/cm<sup>2</sup>. Las traveses con sección de 20x65 cm. armadas con varillas del número 6 y 8 de acero  $F_y=4200$  kg/cm<sup>2</sup>.

La trabe pantalla es de una sección de 30x120 cm. armada por temperatura, y armados con varillas del número 8 de acero  $F_y=4200$  kg/cm<sup>2</sup>.

La plataforma será de una losa de concreto armado de 15 cm. De espesor en los dos lechos con varilla del número 3 a cada 20, y con un firme de 5 cm. como acabado antiderrapante.

## 4.2 Recomendaciones

Debido a una falta de cultura en cuanto a la prevención de desastres naturales en México, no se cuenta con la suficiente investigación científica sobre el cálculo de los efectos debido al oleaje, mareas y viento sobre las estructuras, por lo que es conveniente que las instituciones gubernamentales y privadas encargadas de salvaguardar y vigilar la infraestructura marítima, consideren modernizar la tecnología y metodología para la obtención de información relacionada con los fenómenos físicos antes mencionados, para poder contar con información de primera mano.

De acuerdo con las recomendaciones de mecánica de suelos y al análisis del muelle, se recomienda el empleo de pilas desplantadas a una profundidad de 5 metros, bajo el lecho marino cuidando que se tenga un empotramiento de 60 centímetros asegurando con esto que la estructura no tenga deslizamientos horizontales.

En el proceso del levantamiento batimétrico es conveniente que se emplee tecnología más avanzada debido a que la confiabilidad obtenida permite tener un mayor rango de eficiencia y una mejor calidad en

Para la etapa de hincado de los tubos que servirán para el colado de las pilas, se deberá tener cuidado de anclarlos perfectamente con el propósito de evitar desplazamientos horizontales en el momento del colado y que estas queden ligeramente inclinadas, produciendo así un punto de excentricidad en la estructura.

Las pilas deberán ser coladas en una sola etapa para evitar juntas de construcción, evitado tener oquedades que dañen el acero de refuerzo debido a los sulfatos y cloruros. El procedimiento constructivo deberá ser supervisado por un ingeniero especialista en Cimentaciones Marinas para garantizar que esta sea construida adecuadamente, cumpliendo los requerimientos estructurales.

Es necesario que los elementos estructurales cumplan con lo indicado en los planos estructurales, como son los recubrimientos en acero de refuerzo, traslapes, así como resistencia del concreto, esto será responsabilidad del constructor a cargo de la construcción.

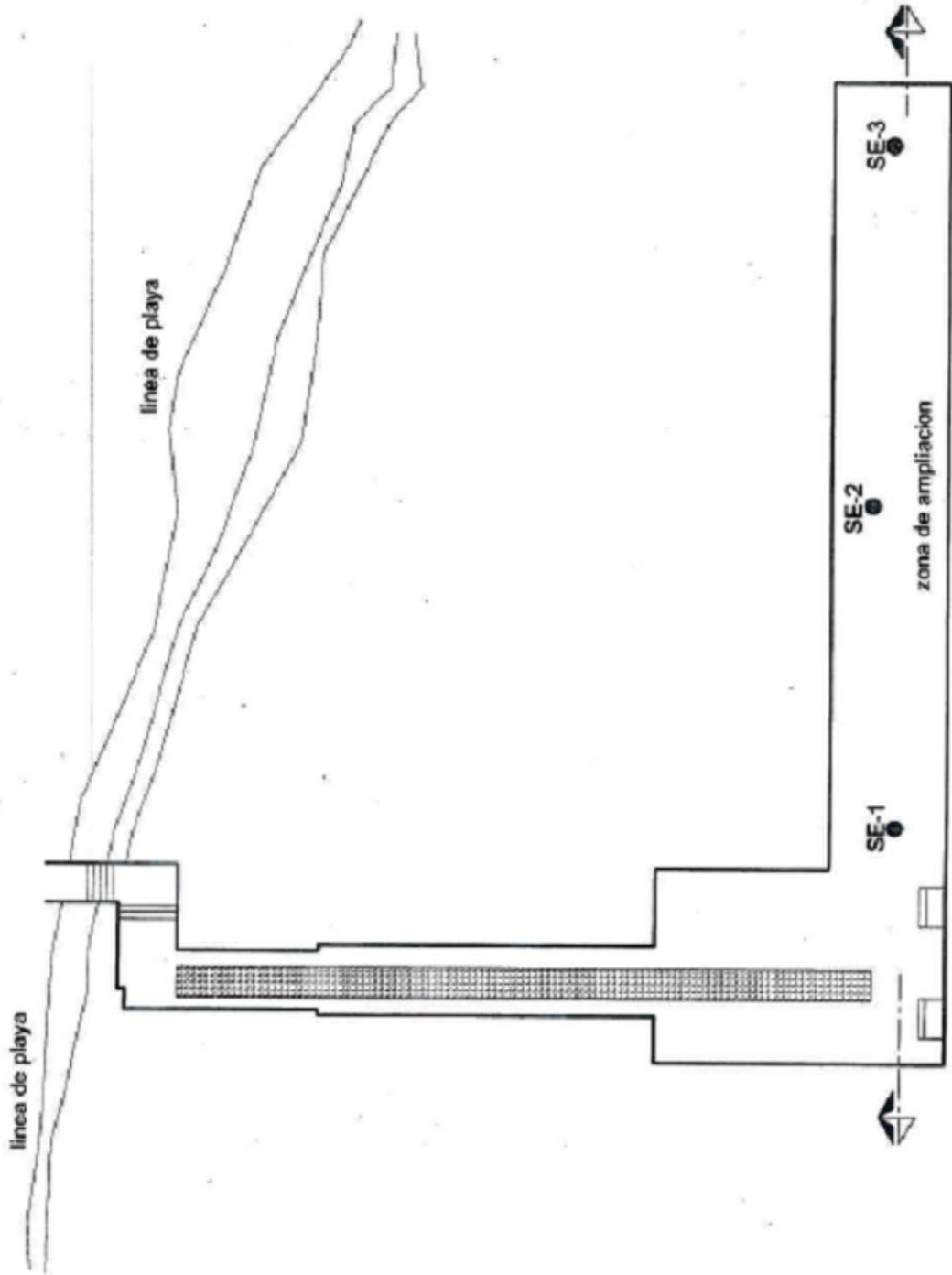
**ANEXOS**

**ANEXO A**  
**PLANOS BATIMÉTRICOS**

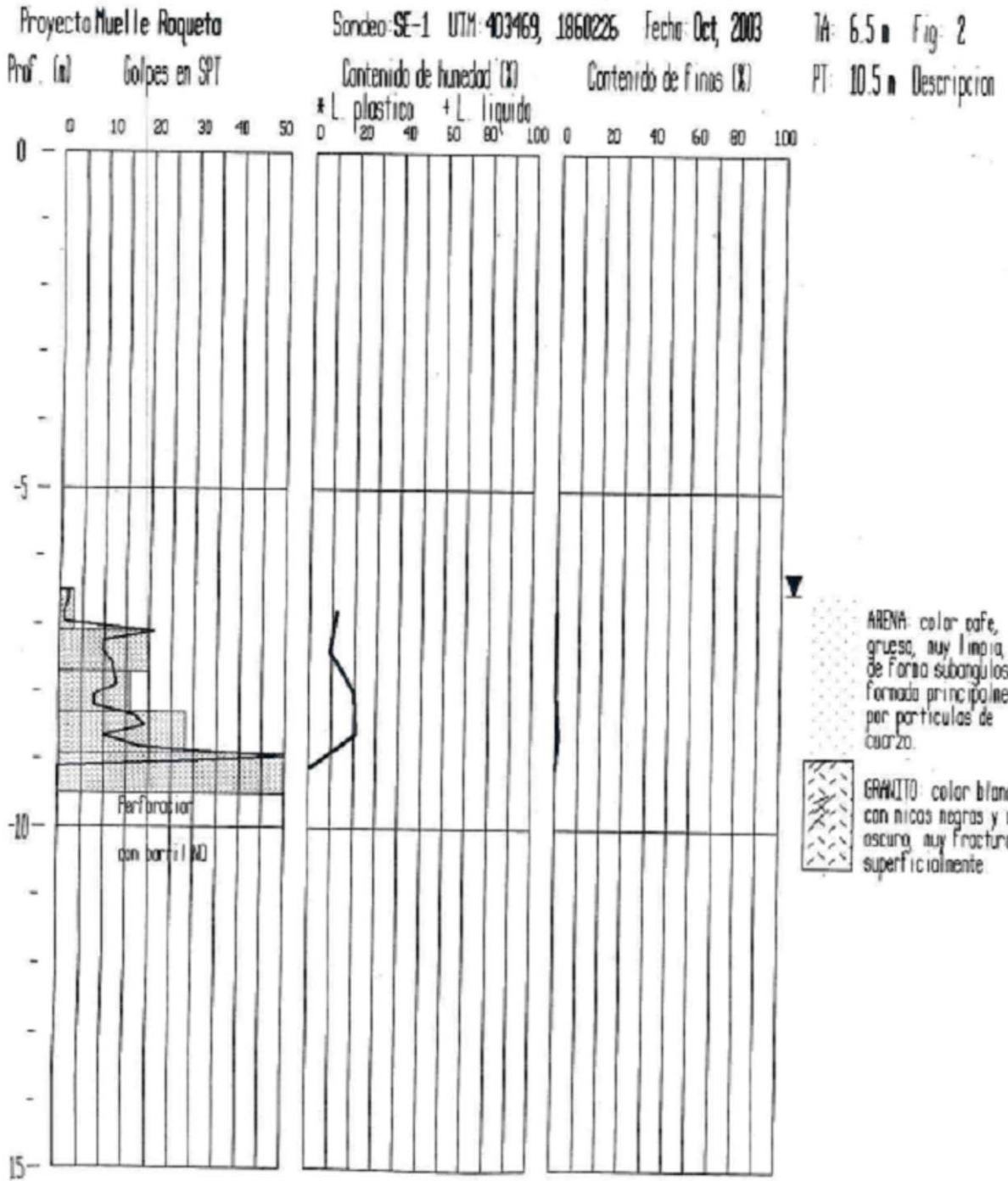


## **ANEXO B**

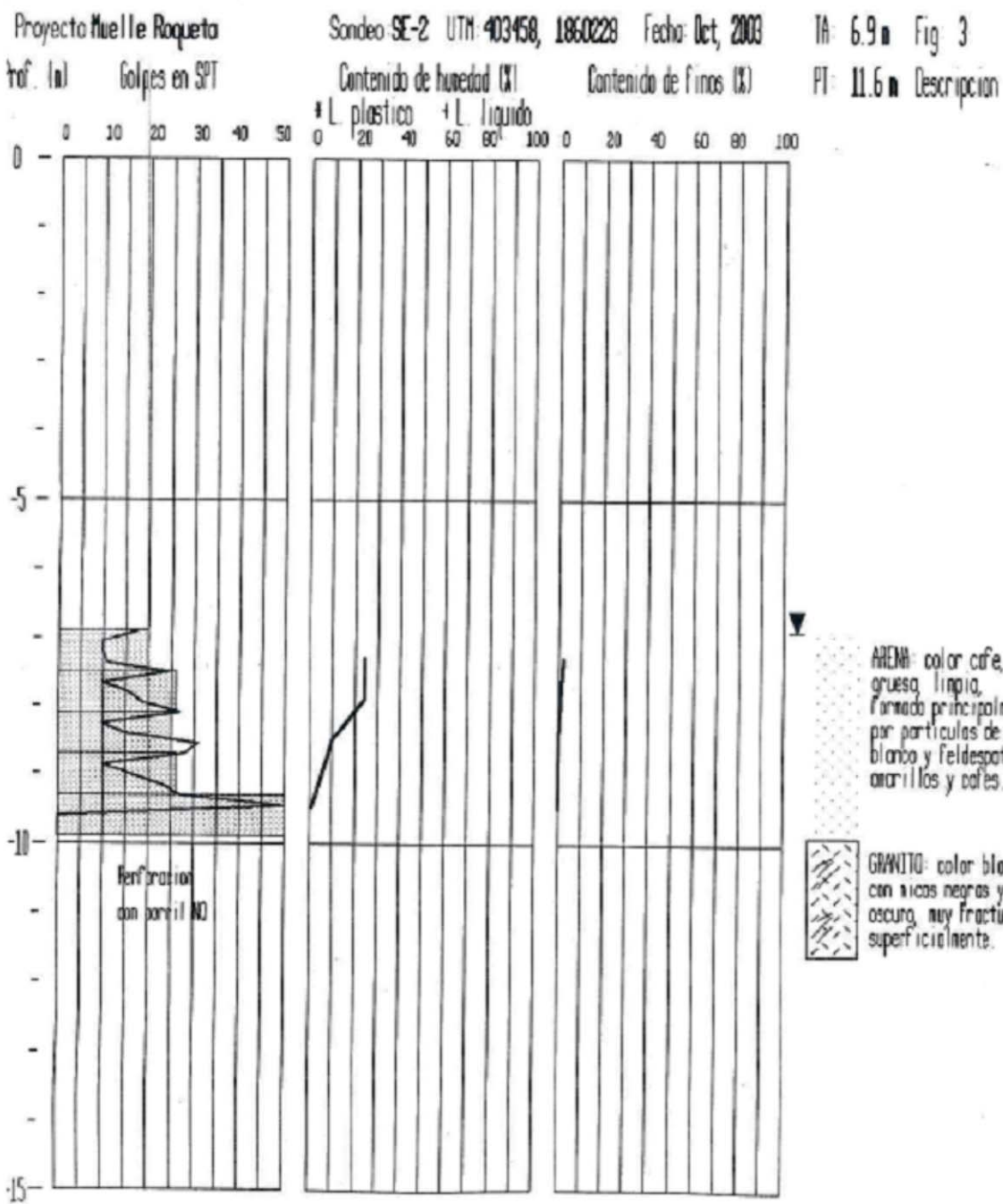
### **GRÁFICAS DEL ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

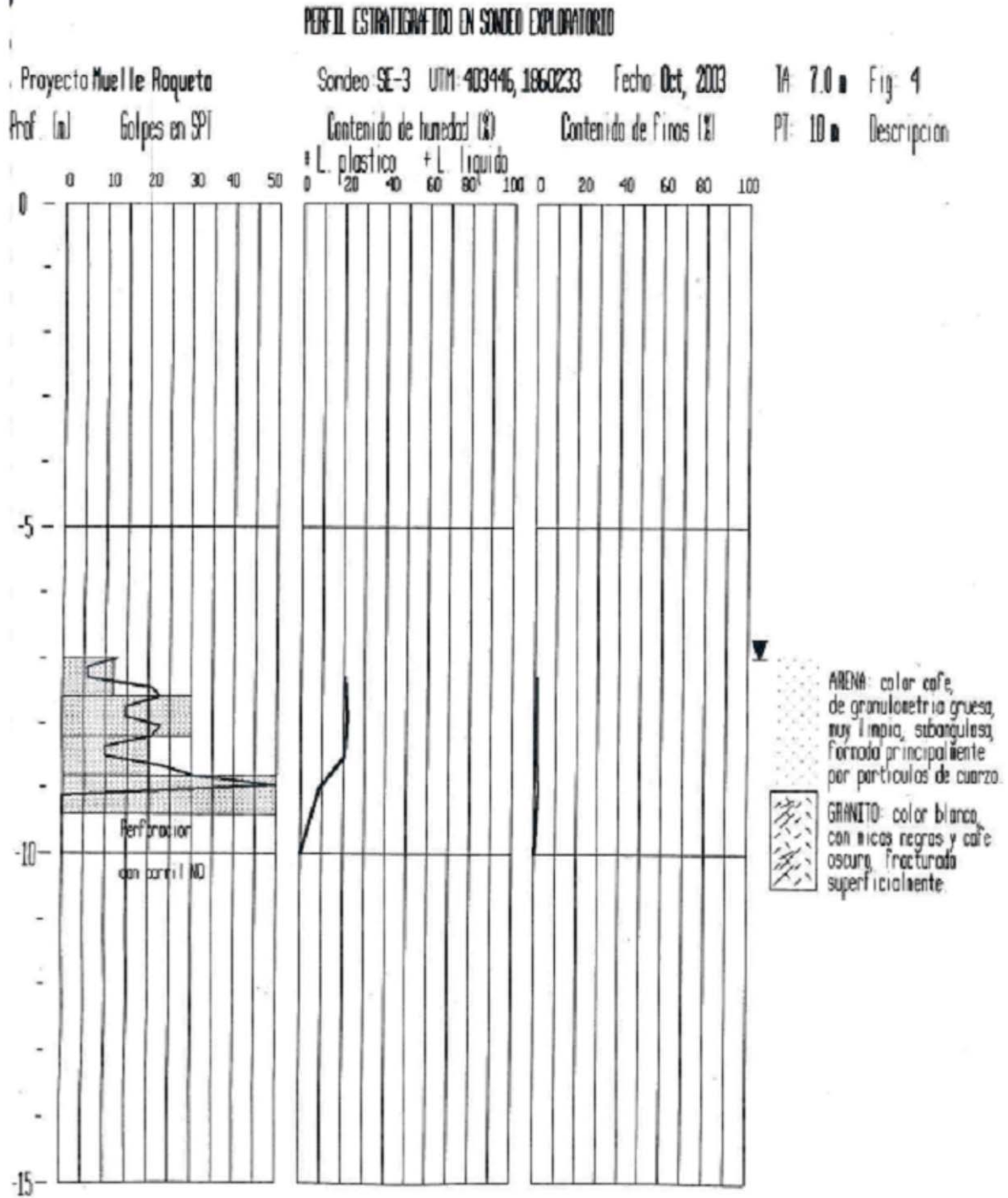


PERFIL ESTRATIGRAFICO EN SONDEO EXPLORATORIO

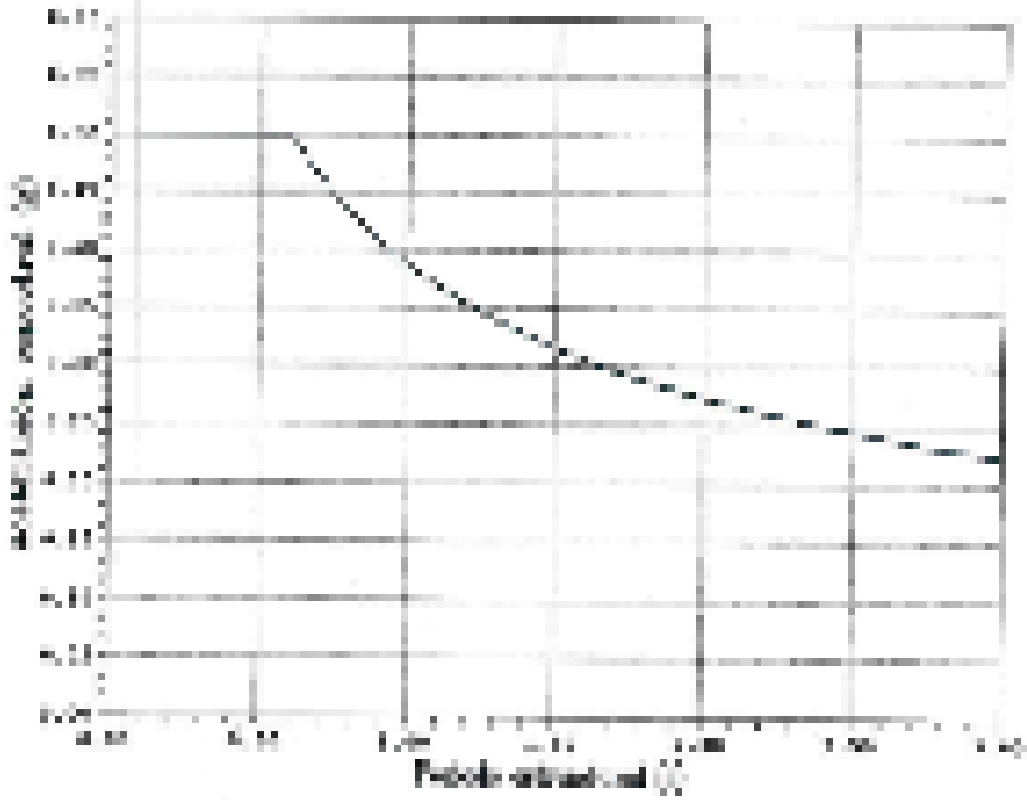
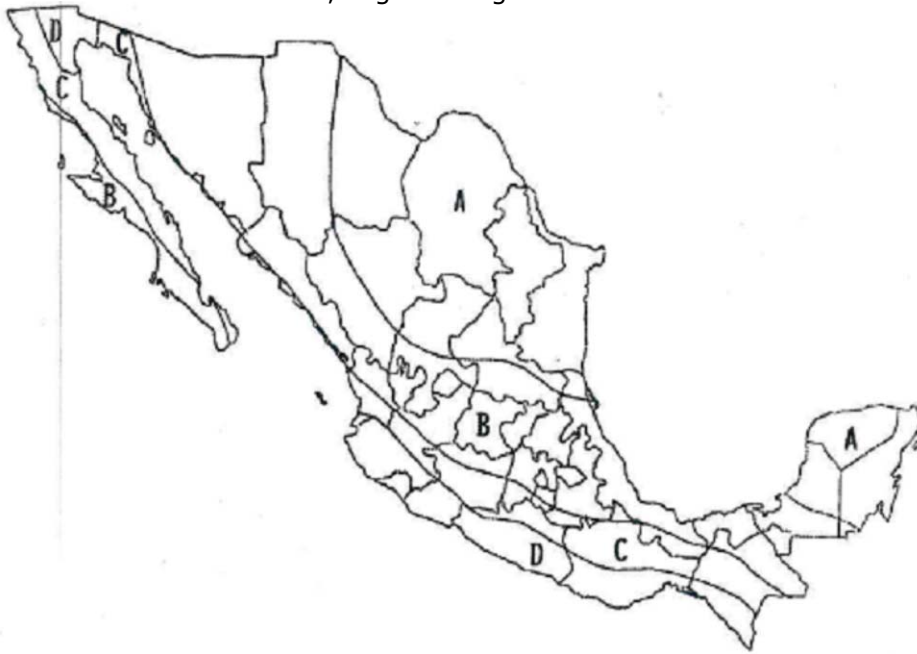


PERFIL ESTRATIGRAFICO EN SONDEO EXPLORATORIO

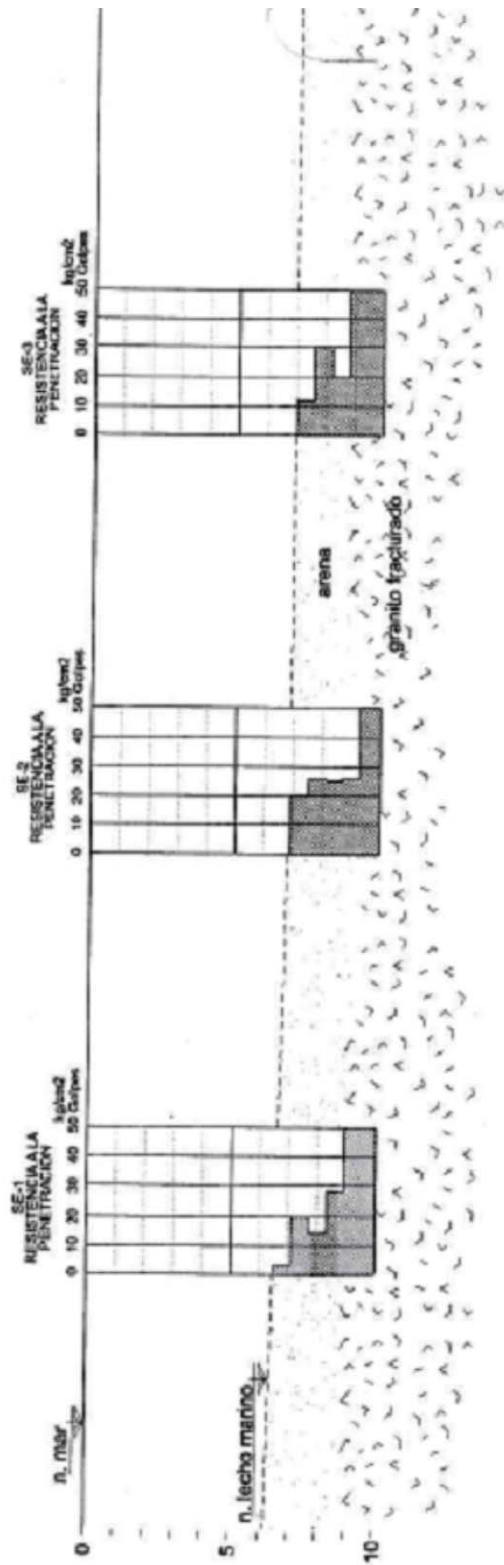


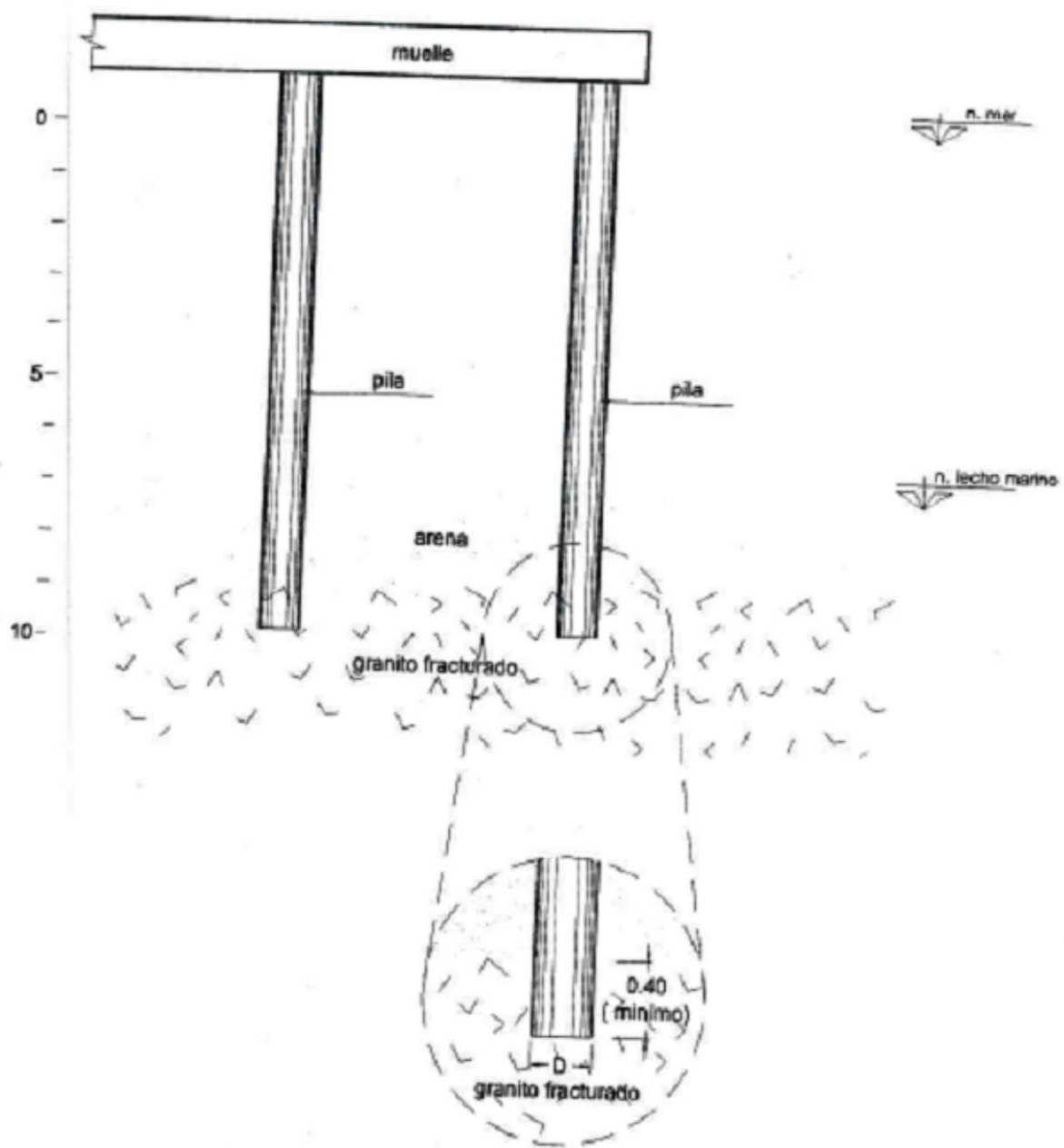


Regionalización sísmica en la República Mexicana, según el reglamento de CFE

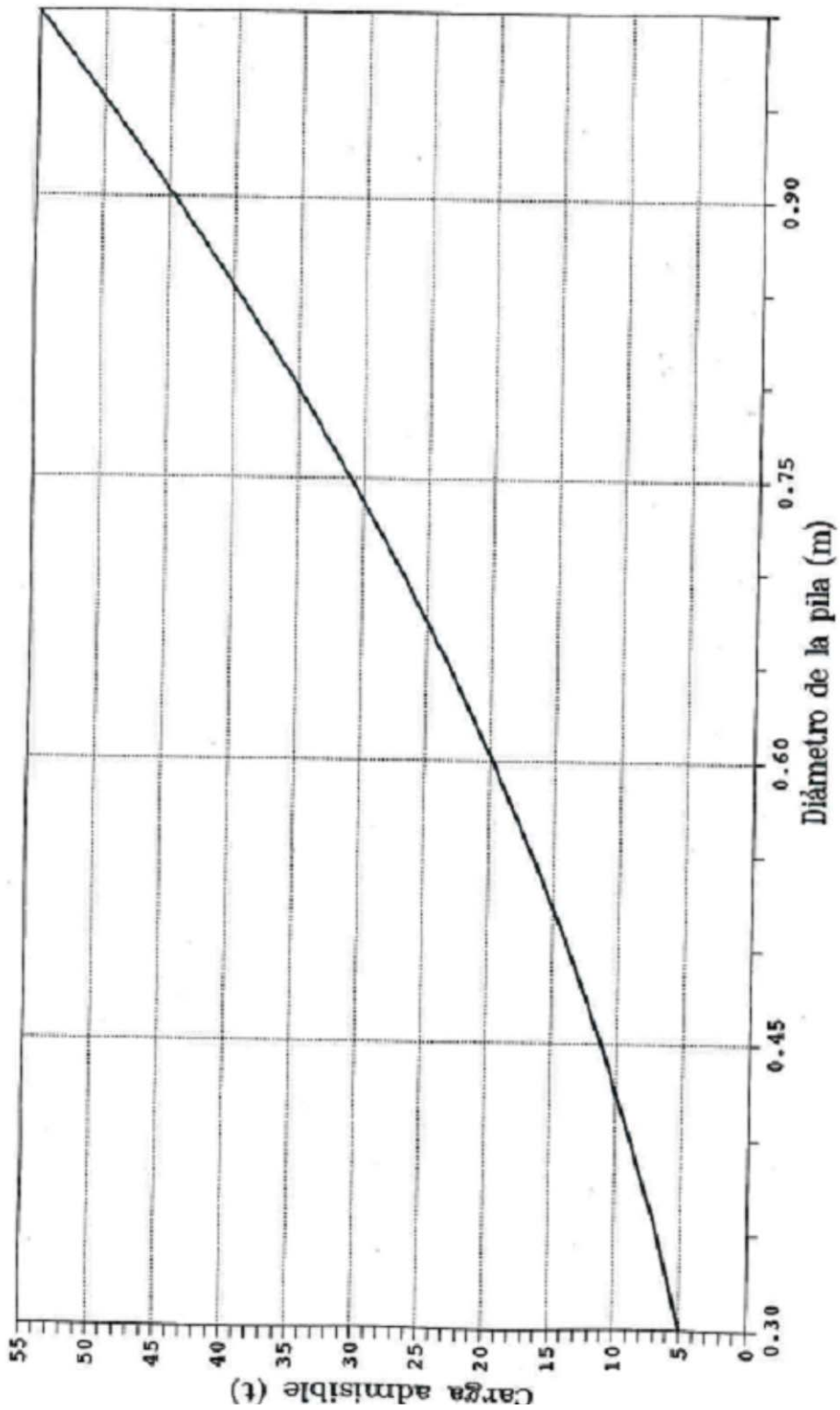


Estratigrafía a lo largo de la zona de trabajo

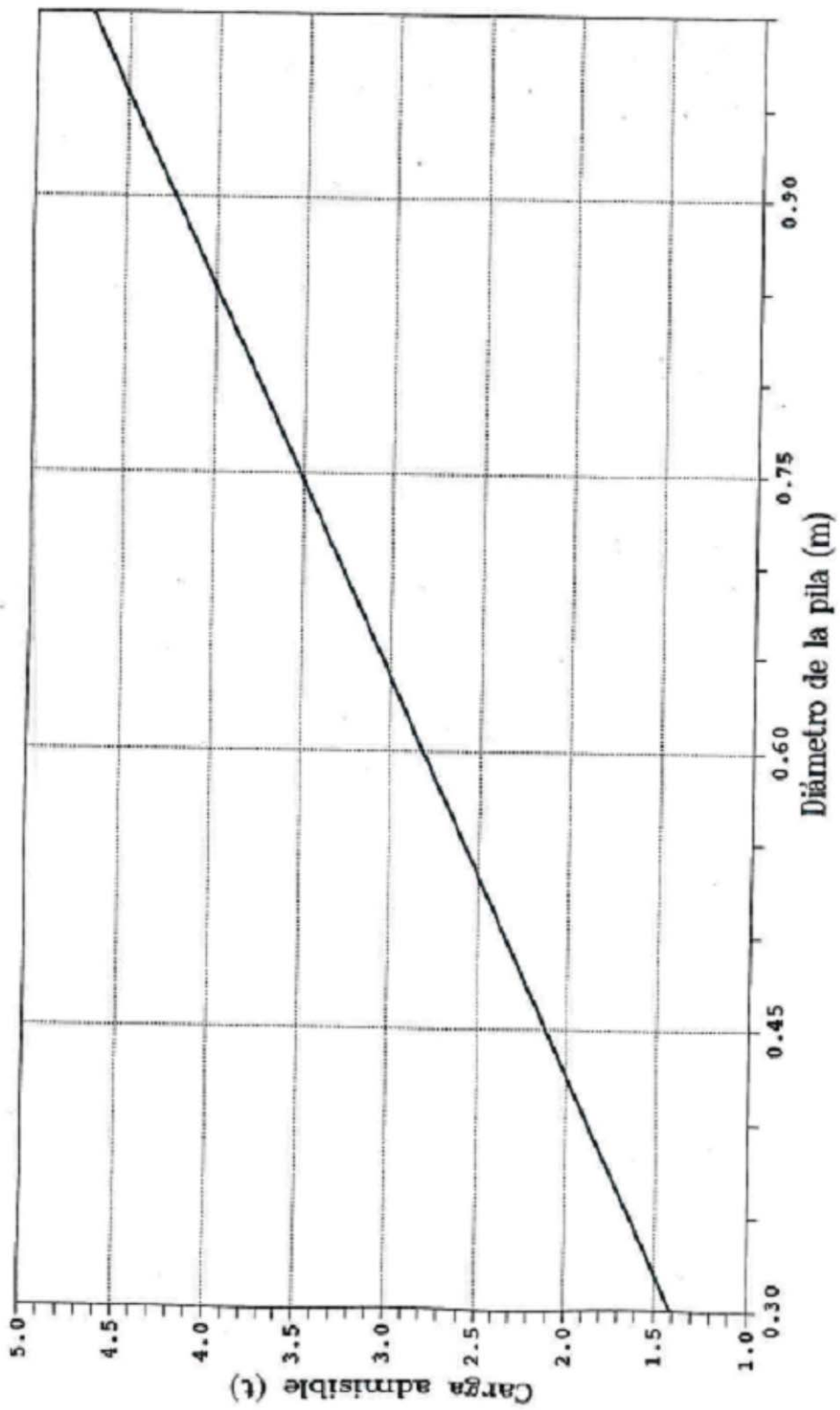




Esquema de colocación de Pilotes en estrato resistente.



Gráfica de carga vertical admisible en pilas.



Gráfica de tensión admisible en pilas.

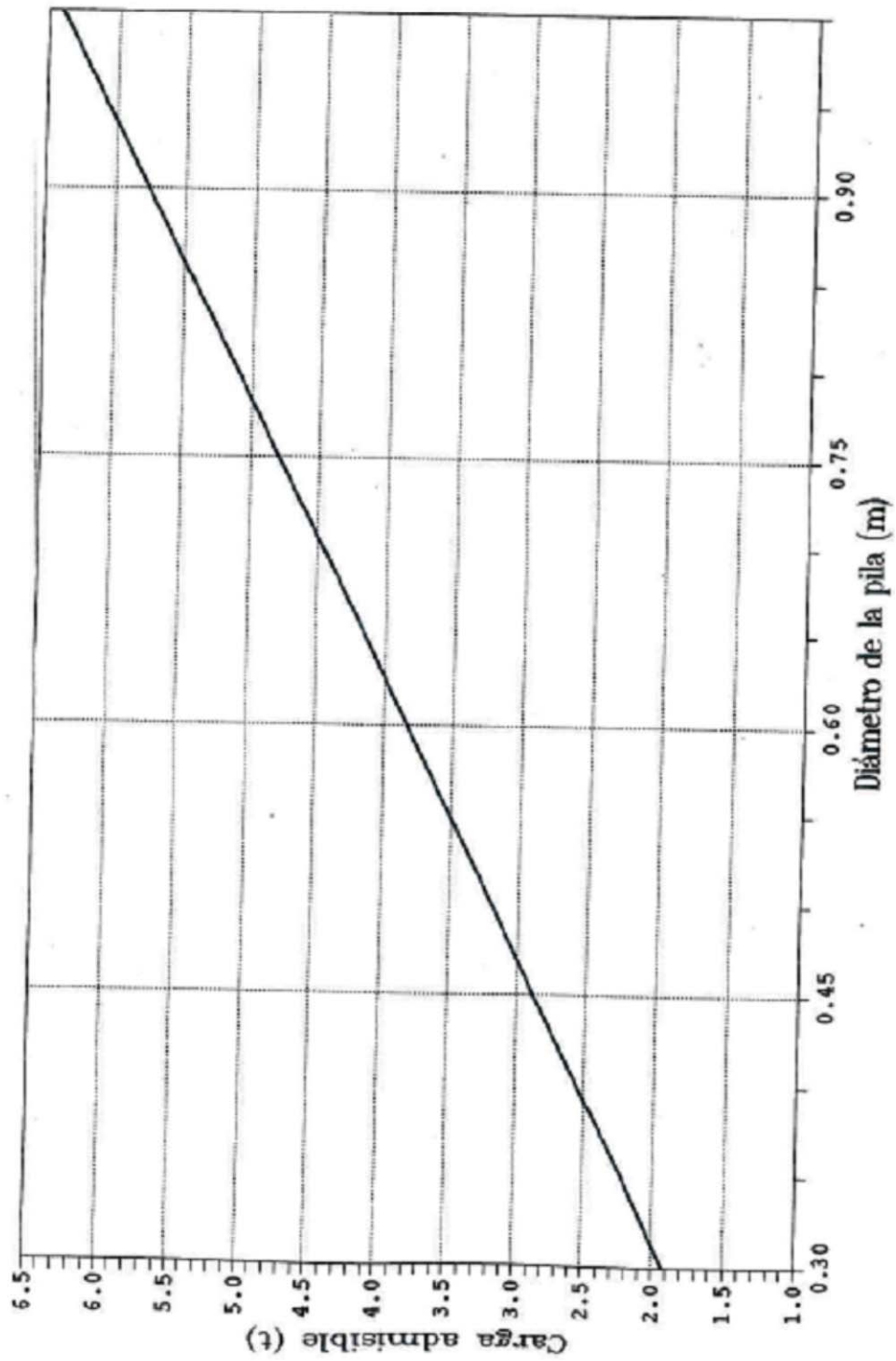
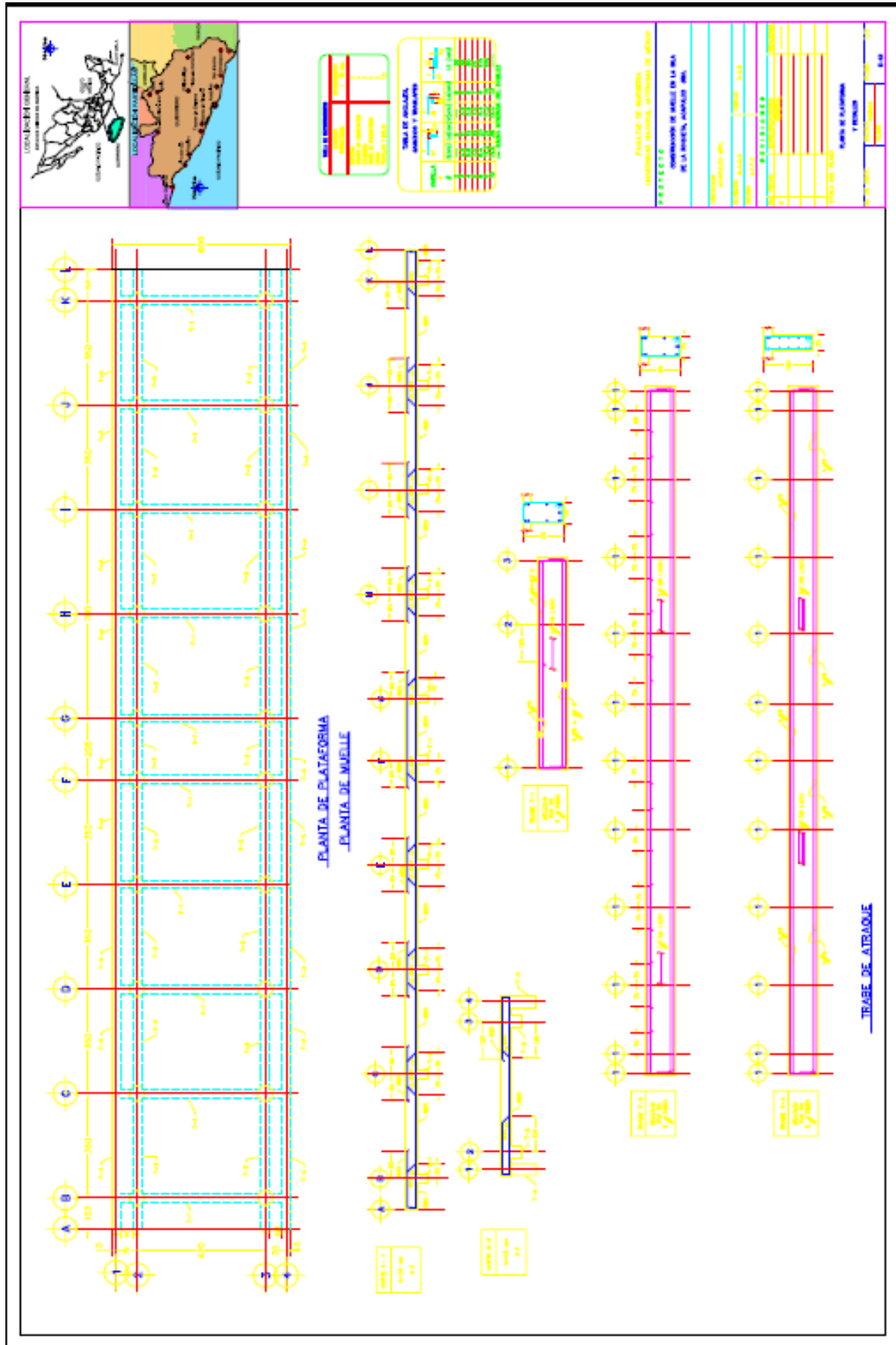


Figura 11. Carga horizontal admisible en pilas.

Gráfica de Carga horizontal admisible en pilas.

**ANEXO C**  
**PLANOS ESTRUCTURALES**







## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- *Measurement and analysis of random data*, Bendat J. S. and Piersol A. G. J. Wiley & Sons. New York, 1976.
- *Desarrollo de un nuevo sistema de procesamiento de información de marea. Informe Técnico N°25/84*, D'ONOFRIO E.E., Departamento Oceanografía, Servicio de Hidrografía Naval, 1984.
- *Analysis and Prediction. Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica*, Franco A. S., Tides Fundamentals, São Pablo. Brasil, 1988.
- *The Analysis of Tides*, Godin, P. Liverpool University Press., 1972.
- *Barotropic tides in the global oceans from a nonlinear tidal model assimilating altimetric tides*, KANTHA L. H. 1. Model description and results. Journal of Geophysical Research, 100(C12), 25283-25308, 1995,
- *Sea-Level Rise and Related Potential Hazards on the Argentine Coast*, LANFREDI N. W., POUSA J.L., D'ONOFRIO E. E., Journal of Coastal Research. Vol 14. No. 1, 1998
- *hydrodynamic ocean tide model improved by assimilating a satellite altimeter – derived data set. Journal of Geophysical Research*, LE PREVOST C., LYARD F., MOLINES J. M., GENCO M. L. AND RABILLOUD F., A, 103(C3), 5513-5529, 1998.
- *Tides, Surges and Mean Sea – Level*, Pugh D. T. , John Willey & Sons. U.K. (1987).
- *Manual of Harmonic Analysis and Prediction of Tides*, Schureman, Paul (1988). U.S. Department of Commerce. Special Publication N° 98. U.S.A.
- *Tablas de Marea (1967)*, Servicio de Hidrografía Naval. Publicación H-610.
- *Manual on Sea Level Measurement and Interpretation Volume II - Emerging Technologies*. UNESCO 1994.
- *Climate and Sea Level Change: Observations, Projections and Implications (OVERVIEW)* , WARRICK, R.A. (1992). Warrick, R.A., Barrow, E.M. and Wigley, T.M.L. Cambridge University Press.
- *Geomorfología; principios, métodos y aplicaciones*, Javier de Pedraza Gilsanz, Editorial Rueda.
- *Geografía Física*, Arthur N. Strabler. y Alan H. Strabler. Ediciones Omega.
  
- *Normas Técnicas Complementarias de Concreto para el D.F.*, año 2004

- *Normas Técnicas Complementarias de Cimentaciones para el D.F.*, año 2004
  - *Manual De Obras Civiles de La Comisión Federal de Electricidad*, Diseño por Sismo edición 1993
  - *Manual de Dimensionamiento Portuario*, de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes edición 2003
  - *Diseño de estructuras de concreto*, Gonzáles Cuevas, 2003
- Introducción a la Mecánica de Suelos*, George B. Sowers, editorial Limusa, 1980