

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**DEFENSA DEL MALECÓN FIGUEREDO  
LA PUNTA – CALLAO**

**TESIS**

**Para optar el título profesional de:**

**INGENIERO CIVIL**

**VICTOR RAUL SOTO PAEZ**

**Lima – Perú  
2006**

**INDICE**

	Pág.
<b>CARÁTULA</b>	<i>i</i>
<b>ÍNDICE</b>	<i>ii</i>
Índice de Figuras	<b>v</b>
Índice de Tablas	<i>vii</i>
<b>INTRODUCCION</b>	<b>001</b>
<b><i>CAPITULO I: FUNDAMENTO TEORICO</i></b>	<b>008</b>
1.1 El Mar Peruano	<b>008</b>
1.1.1 Localización	<b>008</b>
1.1.2 Accidentes Naturales en el Litoral Peruano	<b>008</b>
1.1.3 Morfología de Costas	<b>011</b>
1.2 Movimientos de las Aguas Marinas	<b>013</b>
1.2.1 Olas Cortas	<b>013</b>
1.2.2 Mareas	<b>019</b>
1.2.3 Corrientes Marinas	<b>023</b>
1.3 Rompeolas de Escollera	<b>025</b>
1.3.1 Tipos de Rompeolas	<b>034</b>
1.3.1.1 De Rocaplén o Escollera	<b>034</b>
1.3.1.2 De Terraplén con Unidades de Armadura Artificial Colocadas Aleatoriamente	<b>034</b>
1.3.1.3 De Terraplén con Unidades de Armadura Artificial Colocadas Ordenadamente	<b>036</b>
1.3.1.4 Vertical Macizo Construido in Situ	<b>036</b>
1.3.1.5 De Tope Macizo Vertical con Base de Terraplén de Roca	<b>037</b>
1.3.1.6 Flotante Flexible	<b>037</b>
1.3.1.7 Flotante Rígido	<b>040</b>
1.3.1.8 De Terraplén o Vertical Sumergido	<b>040</b>

1.3.1.9	Neumático	042
1.3.1.10	Playa	042
1.3.2	Clasificación de los Rompeolas de Escolleras según su uso	043
1.3.3	Sistema de Protección Empleado	043
1.3.4	Parámetros de Diseño de un Rompeolas	045
	A. Parámetros Básicos Hidrodinámicos	045
	B. Otros Parámetros Básicos de Diseño	051
1.4	Estudio de Rocas	054
1.4.1	Tipos y Características	054
1.4.2	Normas y Ensayos	057
1.4.3	Explotación de Canteras	057
<b>CAPITULO II: INFORMACION BASICA</b>		<b>060</b>
2.1	Características Oceanográficas	060
2.1.1	Mareas	060
2.1.2	Corrientes	060
2.1.3	Oleaje	067
2.1.4	Meteorología y Climatología	070
2.2	Batimetría de la Zona	079
2.3	Geodesia y Topografía	079
2.3.1	Control Horizontal	081
2.3.2	Control Vertical	082
2.4	Vientos Predominantes en la Zona	082
2.5	Información Complementaria	084
2.5.1	Información Geológica y Geotécnica	084
2.5.2	Riesgo Sísmico	084
2.5.3	Impacto Ambiental	087
2.5.4	Transporte de Sedimentos	087

<b>CAPITULO III:</b>	<b>DISEÑO DE LA DEFENSA</b>	<b>091</b>
3.1	Concepción y Concepto de Defensa	091
3.2	Parámetros de Diseño	091
3.3	Diseño del Enrocado	106
3.4	Diseño del Muelle	112
<b>CAPITULO IV:</b>	<b>PROCESO CONSTRUCTIVO</b>	<b>122</b>
4.1	Del Espigón	122
4.2	Del Muelle	129
4.3	De las Obras Complementarias	132
<b>CAPITULO V:</b>	<b>PRESUPUESTO Y PROGRAMACIÓN DE OBRA</b>	<b>133</b>
5.1	Presupuesto de la Obra	133
5.2	Programación de la Obra	133
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>		<b>139</b>
Conclusiones		139
Recomendaciones		140
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b>		<b>142</b>
<b>ANEXOS</b>		<b>144</b>
ANEXO 1:	Especificaciones Técnicas Generales	144
ANEXO 2:	Evaluación del Impacto Ambiental	166
ANEXO 3:	Análisis de Precios Unitarios	176
ANEXO 4:	Fotografías 1/12	189
ANEXO 5:	Planos 1/10	197



## INDICE DE FIGURAS

<i>Nº de Fig.</i>	<i>Título</i>	<i>Pág.</i>
1.1	Ubicación del área de estudio	00
1.2	Ubicación del área de estudio, vista satelital	003
1.1	Accidentes del litoral Peruano	009
1.2	Perfiles de playa	012
1.3	Distribución del oleaje en aguas profundas para la costa Peruana	015
1.4	Definición de términos de una ola	016
1.5	Tipos de rompientes	018
1.6	Movimientos de ascenso y descenso de las aguas del mar	020
1.7	Movimientos de ascenso y descenso de las aguas del mar	021
1.8	Las olas de mareas frente a la costa del Perú	024
1.9	Corriente Peruana o de Humboldt	026
1.10	Fenómeno de El Niño	027
1.11	Rompeolas de rocaplén o escollera	030
1.12	Rompeolas vertical macizo	031
1.13	Métodos para reducir la acción de las olas	033
1.14	Tipos de rompeolas	035
1.15	Rompeolas de tope macizo vertical con base de terraplén de roca	038
1.16	Rompeolas flotante flexible	039
1.17	Tipos de rompeolas	041
1.18	Clasificación de los rompeolas de escolleras	044
1.19	Medición de olas con una boya flotante tipo acelerómetro (ológrafo)	048
1.20	Modelos de refracción de las olas	049
1.21	Difracción de olas	050
1.22	Gráfica de definición del run up	052
1.23	Definición geométrica del proceso de rompiente	053

<i>Nº de Fig.</i>	<i>Título</i>	<i>Pág.</i>
1.24	Tipos de rocas	055
2.1	Mareograma	061
2.2	Distribución de la temperatura de agua de mar en la superficie	071
2.3	Distribución de la temperatura del aire en superficie media estacional (°C)	072
2.4	Distribución de precipitación media estacional (mm)	073
2.5	Mapa geológico de Lima	085
2.6	Mapa de distribución de intensidades según el Instituto Geofísico del Perú	086
2.7	Plano de zonificación geotécnica	088
3.1	Distribución de olas significante (Hs)	095
3.2	Cálculo del coeficiente de difracción para un ángulo de 30°	098
3.3	Cálculo del coeficiente de difracción para un ángulo de 60°	099
3.4	Altura de ola rompiente según Goda (1970)	100
3.5	Profundidad en la rompiente según Goda (1970)	103
3.6	Comparación del run up para pendientes lisas y de escolleras permeable	105
3.7	Sección transversal para el rompeolas propuesto	113

## INDICE DE TABLAS

<i>Nº de Tabla.</i>	<i>Título</i>	<i>Pág.</i>
2.1	Medición de Corrientes en La Punta - Callao	063
2.2	Medición de Corrientes en la Punta - Callao	065
2.3	Temperatura del aire media mensual multianual	075
2.4	Temperatura superficial del mar media mensual multianual	076
2.5	Humedad relativa media mensual multianual	077
2.6	Precipitación media mensual multianual	078
2.7	Tabla de mareas 2003 - Callao	080
2.8	Viento prevaleciente media mensual multianual	083
2.9	Transporte de sedimentos	090
3.1	Valores de las funciones de $d/L_0$ según Wiegel	094
3.2	Altura de olas significantes	096
3.3	Valores de las funciones de $d/L_0$ según Wiegel	097
3.4	Valores sugeridos por el CERC de K para determinar el peso de la unidad de coraza	108
3.5	$H^*/H$ y $K_D$ en función del daño de la coraza y del tipo de unidad	109
3.6	Coefficiente de capa y de porosidad para varias unidades de coraza	110

## INTRODUCCIÓN

### GENERALIDADES

La ciudad de Lima cuenta actualmente con excelentes balnearios en la costa central, debido a que estos presentan ambientes turísticos, deportivos y de recreación, entre los cuales se tiene por el norte el balneario del distrito de Ancón, por el sur al balneario del distrito de Asia y por el oeste al balneario del distrito de La Punta; precisamente éste último es uno de los mejores balnearios con que cuenta la Provincia Constitucional del Callao, debido a que tiene una zona de atractivo turístico llamado El Malecón Figueredo, el cual es frecuentado actualmente por muchas personas sobretodo en épocas de verano, debido a que está comprendido por un ambiente de recreación y otra de paseo.

La zona del Malecón por estar ubicado en la costa norte de La Punta, se caracteriza por presentar un mar alterado; por ello el presente proyecto estudiará y evaluará las condiciones de vulnerabilidad de la zona a proteger, como es el de precisar las causas y magnitud de los daños que se puede presentar, como que así también este estudio no busque solamente en dar una solución técnico-económico completa de la zona de estudio, sino que se tendrá que armonizar o complementar con el ambiente de recreación y paseo que tiene el lugar.

### UBICACIÓN

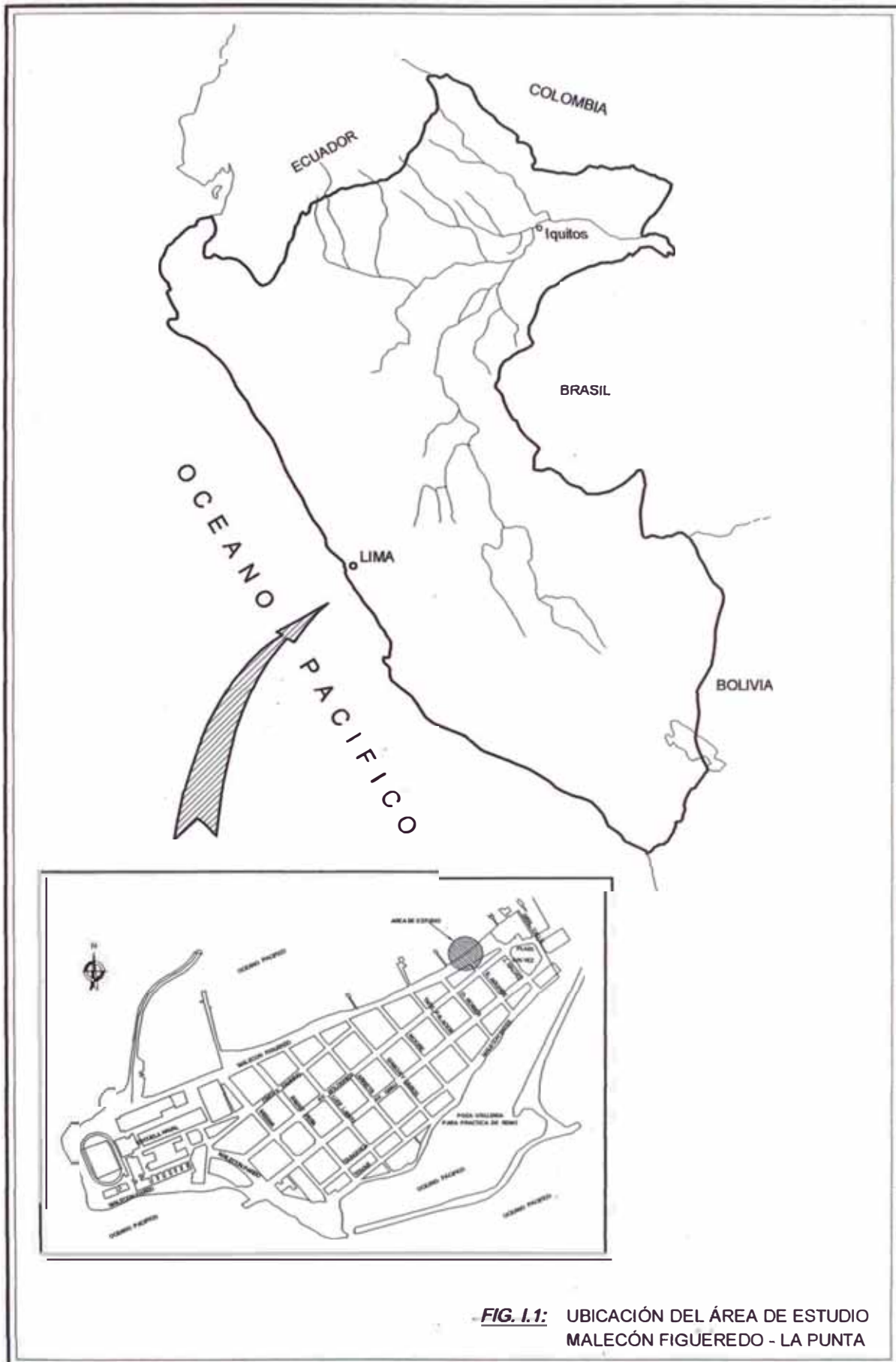
El Malecón Figueredo está ubicado en el distrito de La Punta, formando parte del conjunto de zonas turísticas con que cuenta la Provincia Constitucional del Callao debido a su ubicación y características (**Fig, 1.1 y 1.2**); el cual es utilizado por presentar diversas actividades como la pesca y la práctica de deportes acuáticos en sus diferentes modalidades; cuyos límites son: (**Ver Fotos N° 1, 2, 3 y 4 del Anexo 4**)

Por el norte con el Océano Pacífico.

Por el sur con el distrito de La Punta.

Por el este con el club Regatas Unión.

Por el oeste con la Escuela Naval.



**FIG. I.1:** UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO  
MALECÓN FIGUEREDO - LA PUNTA

FUENTE: Tesis "Defensa del Malecón Pardo La Punta - Callao", Enrique Anselmo Celis Paucar.



FIG. 1.2: UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO  
VISTA SATELITAL

FUENTE: Google Earth.



## ANTECEDENTES

De acuerdo a la *Dirección de Hidrografía y Navegación* <sup>(15)</sup>, las estadísticas de movimientos telúricos ocurridos en los últimos 400 años sobre todo los que han tenido lugar en las costas del Perú, y que han afectado la zona de estudio, ha sido principalmente a que la actividad sísmica a lo largo de la costa occidental de Sudamérica se encuentra en la región de la Fosa Perú-Chile que se encuentra entre Lima y Valdivia, por ello haremos una breve reseña histórica en forma cronológica de los eventos sísmicos acaecidos en la zona del Callao, así como en la Costa del Perú que ha tenido bastante influencia en la zona de estudio, como Terremotos, Maremotos o Tsunamis, los cuales son:

- **9 de Julio de 1586**

Maremoto a lo largo de la costa de Lima, el mar subió 4 brazas, destruyendo propiedades unos 300 metros tierra adentro. Las olas inundaron aproximadamente 10 Km<sup>2</sup>. Esta ola fue ocasionada por un sismo de intensidad VIII cuyo epicentro estuvo cerca de la costa de Lima y que destruyó la ciudad perdiendo la vida cerca de 22 personas.

- **17 de Junio de 1678**

La ola causó en el Callao y otros puertos vecinos muchos estragos, fue ocasionado por un sismo cuyo epicentro estuvo al norte de Lima, con una intensidad de VII, haciendo que el mar retrocediera y regresara con fuerza destructiva.

- **20 de Octubre de 1687**

Gran ola en el Callao, y otros puertos, ocasionado por el sismo ocurrido a las 16:00 horas, con epicentro al norte de Lima, con una intensidad de IX que dejó la mayor parte de Lima en ruinas, registrándose mas de 200 muertos, causando destrucción y pérdidas materiales en muchas propiedades.

- **28 de Octubre de 1746**

El Callao fue destruido por dos olas, una de las cuales alcanzó más de 7 metros de altura. Este maremoto causó la muerte de 5 á 7 mil habitantes y es probablemente el maremoto más fuerte registrado a la fecha. Diecinueve barcos, incluidos los de guerra, fueron destruidos o encallados; uno de ellos

fue varado aproximadamente 1.5 Km tierra adentro. En otros puertos también hubo destrucción especialmente Chancay y Huacho.

- **01 de Diciembre de 1806**

Maremoto en el Callao que alcanzo más de 6 metros de altura, dejando varias embarcaciones en tierra, la ola levantó un ancla de una de tonelada y media y la depósito en la casa del capitán de puerto fue generado por un sismo intensamente sentido en Lima.

- **30 de Marzo de 1828**

Ciudades de la costa destruidas por el efecto del maremoto, ocasionado por un sismo que ocurrió a 07:30 horas, y sentido en Lima con intensidad VII.

- **13 de Agosto de 1868**

Maremoto ocasionó grandes daños desde Trujillo (Perú) hasta Concepción (Chile) en Arica una nave de guerra norteamericana fue depositada 400 m. tierra adentro. El Tsunami se dejó sentir en puertos tan lejanos como Hawaii, Australia y Japón. En Arequipa el movimiento fue sentido con intensidad VI aproximadamente. Epicentro frente Arica, máxima altura de la ola registrada 21 m en concepción (Chile).

- **24 de Agosto de 1942**

Movimiento submarino cerca de Pisco. Braveza de mar registrada en Matarani y en el Callao. Alguna evidencia de deslizamientos submarinos. Maremoto ocasionado por un sismo de magnitud 8.1° con epicentro en 15.1°s, 75.0°w, profundidad 60 Km. ocurrido a las 22h. 50' 24".

- **1° de Abril de 1946**

Terremoto en Chile. Tsunami destructivo en una gran área en el Pacifico (Chile, Perú, Ecuador y Colombia). Cinco murieron en Alaska y en Hawaii, una onda de 6 m. de altura causa la muerte de 165 personas y pérdidas materiales por más de 25'000,000 de dólares.



- **5 de Noviembre de 1952**

Fuerte maremoto azota las costas de Chile, Perú, Ecuador. Mayor destrucción en Chile. Registro de los mareógrafos: Libertad (Ecuador) 1.9 m., Callao (Perú) 2.0 m., Talcahuano (Chile) 3.7 m.

- **9 de Marzo de 1957**

Maremoto originado en el Pacífico Norte. Daños por 3 millones de dólares en Hawaii. Oscilación de alrededor de 1.0 m en los mareógrafos de Chile. En el Callao solamente de 0.25 m.

- **22 de Mayo de 1960**

Sismo originado frente a las costas de Chile, por su magnitud fue similar a un de los grandes maremotos ocurridos. En la Punta (Callao) el mareógrafo registro 2.2 m de altura. Los daños más grandes fueron en Hawaii y Japón.

- **28 de Marzo de 1964**

Sismo originado en Kodiak, Alaska; uno de los más grandes terremotos registrados en el Pacífico norte. Daños de gran magnitud en las costas de Alaska, oeste de Norteamérica. Cobró más de 100 vidas humanas. Registrado en las costas de Perú y Chile. En el Callao se registró onda de 1.5 m.

- **03 de Octubre de 1974**

Sismo originado frente a las costas del Callao, el Tsunami inundo varias fábricas frente a las bahías de Chimú y Tortugas, al norte de Lima, destruyendo muelles y cultivos.

Esto constituye una síntesis de la mayor actividad sísmica ocurrida en el Perú entre 1586 y 1974, si bien es cierto que todo el territorio peruano ha estado y está expuesto a la actividad sísmica propia de este lado del continente, la zona de la Costa entre los cuales está la zona de estudio muestra una mayor incidencia de ésta actividad.

## JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El distrito de La Punta es una zona turística, que presenta una gran zona costera, por lo que se ha considerado como una solución tanto turístico como un medio de protección la construcción de un enrocado y su respectivo embarcadero.

El enrocado tendrá como función recibir el impacto de las olas e impedir que estas arrastren material de manera que permita un normal atraque y desatraque de las pequeñas embarcaciones de recreo, impulsando de esta manera la actividad turística en la zona.

## OBJETIVOS DEL PROYECTO

Los objetivos del presente proyecto son:

- a) Realizar una evaluación desde el punto de vista técnico-económico de una alternativa de solución, viendo si es factible la utilización del enrocado, la cual se emplearía para la protección del embarcadero, y determinar la rentabilidad del proyecto.
- b) Evaluación de las condiciones de vulnerabilidad de las estructuras de defensa, que servirá como base para el estudio y del proyecto en sí.
- c) Determinación de los parámetros básicos óptimos para el diseño de rompeolas de rocaplén sin sobre paso de olas que serán obtenidos de los diversos estudios realizados tanto de investigación, instrumentación u observación a la zona de estudio, como nivel de mareas, altura y velocidad de olas, riesgo sísmico, etc.; para que así no existan obras de defensa sobredimensionadas o subdimensionadas.

## CAPÍTULO I: FUNDAMENTO TEÓRICO

### 1.1 EL MAR PERUANO

#### 1.1.1 LOCALIZACIÓN

El mar del Perú es la parte del Océano Pacífico que baña las costas del país, extendiéndose entre el litoral y una línea paralela a este, situada a 200 millas (370 Kms.) y desde el paralelo de Boca de Capones, al norte de Tumbes, hasta el paralelo de la Concordia al sur de Tacna. Tiene una extensión superficial de 617,500 Km<sup>2</sup> aproximadamente.

#### 1.1.2 ACCIDENTES NATURALES EN EL LITORAL PERUANO

La configuración existente de la Costa está determinada mayormente por una gran cantidad de "Puntos Fijos", siendo éstas salientes de roca o acantilados al pie de los cuales están las playas formadas con piedras grandes y grava, materiales que en la práctica difícilmente pueden ser transportados por las olas. Cerca de la desembocadura de los ríos de la costa se encuentran playas arenosas alimentadas en las épocas de verano por los sedimentos transportados por estos ríos.

La tendencia de los materiales sueltos de las playas del Perú de moverse hacia el norte es en muchos casos la razón de la formación típica de muchas bahías de la costa, ó una saliente rocosa ha obstruido en forma total o parcial el pase del transporte de sedimentos causando una erosión al lado norte de la formación, creándose de esta manera la bahía.

En el litoral peruano no hay accidentes litorales muy pronunciados, sin embargo hay algunas penínsulas, puntas, bahías, cabos e islas.

La (**Fig 1.1**) nos muestra los principales accidentes del litoral peruano.

- **LAS PENÍNSULAS**

En el litoral peruano sólo hay tres penínsulas de poca extensión: Paracas, en la provincia de Pisco, departamento de Ica; Ferrol, en la provincia de Santa, departamento de Ancash; e Illescas, en la provincia de Piura, departamento de Piura.



- **LAS PUNTAS**

Son pequeñas porciones de tierra que penetran en el mar; algunos puntos sirven de albergue a las aves guaneras.

Las principales puntas son: Coles, en la provincia de Ilo, departamento de Moquegua; Islay, en el departamento de Arequipa; San Nicolás, en la provincia de Nazca, departamento de Ica; La Punta, en la provincia constitucional del Callao; Chao, Cerro Prieto y Malabrigo; Punta Aguja, Punta Balcones y Punta Pariñas, en el departamento de Piura.

- **LAS BAHÍAS**

Son porciones de mar que penetran en el continente. Son los accidentes donde se construyen los puertos.

Entre las principales bahías destacan: Paita y Sechura, en el departamento de Piura; Chimbote y Samanco, en el departamento de Ancash; Paracas e Independencia, en el departamento de Ica.

- **LOS CABOS**

Son porciones de territorio que penetran en el mar, sin el terminal agudo como las puntas.

Existen dos cabos en nuestro litoral: Cabo Blanco, en el departamento de Piura; y Cabo Lomas, en el departamento de Arequipa.

- **LAS ISLAS**

Porciones de tierra, de poca extensión, rodeados totalmente por las aguas del mar, de los océanos o de los lagos.

Entre las islas que existen en el Perú destacan: Isla Foca, frente a Paita, departamento de Piura; Lobos de Tierra y Lobos de Afuera, frente a Lambayeque; las islas de Macabí, Guañape y Chao, en el departamento de La Libertad; las islas de Santa y Blanca, en el departamento de Ancash; San Lorenzo y El Frontón, frente al Callao; Pachacámac y Asia, frente al departamento de Lima; y las islas de Chincha y San Gallán, frente al departamento de Ica.

### 1.1.3 MORFOLOGÍA DE COSTAS

El tema de la morfología de costas cubre un rango muy amplio de aspectos relacionados con el movimiento de sedimentos en zonas costeras, puesto que las olas desempeñan un rol importante en la morfología de las costas.

- **PERFIL DE PLAYAS**

El perfil de una playa está fuertemente influenciado por numerosos factores físicos tales como:

- Clima
- Propiedades de los sedimentos
- Corrientes
- Geografía de la costa y batimetría

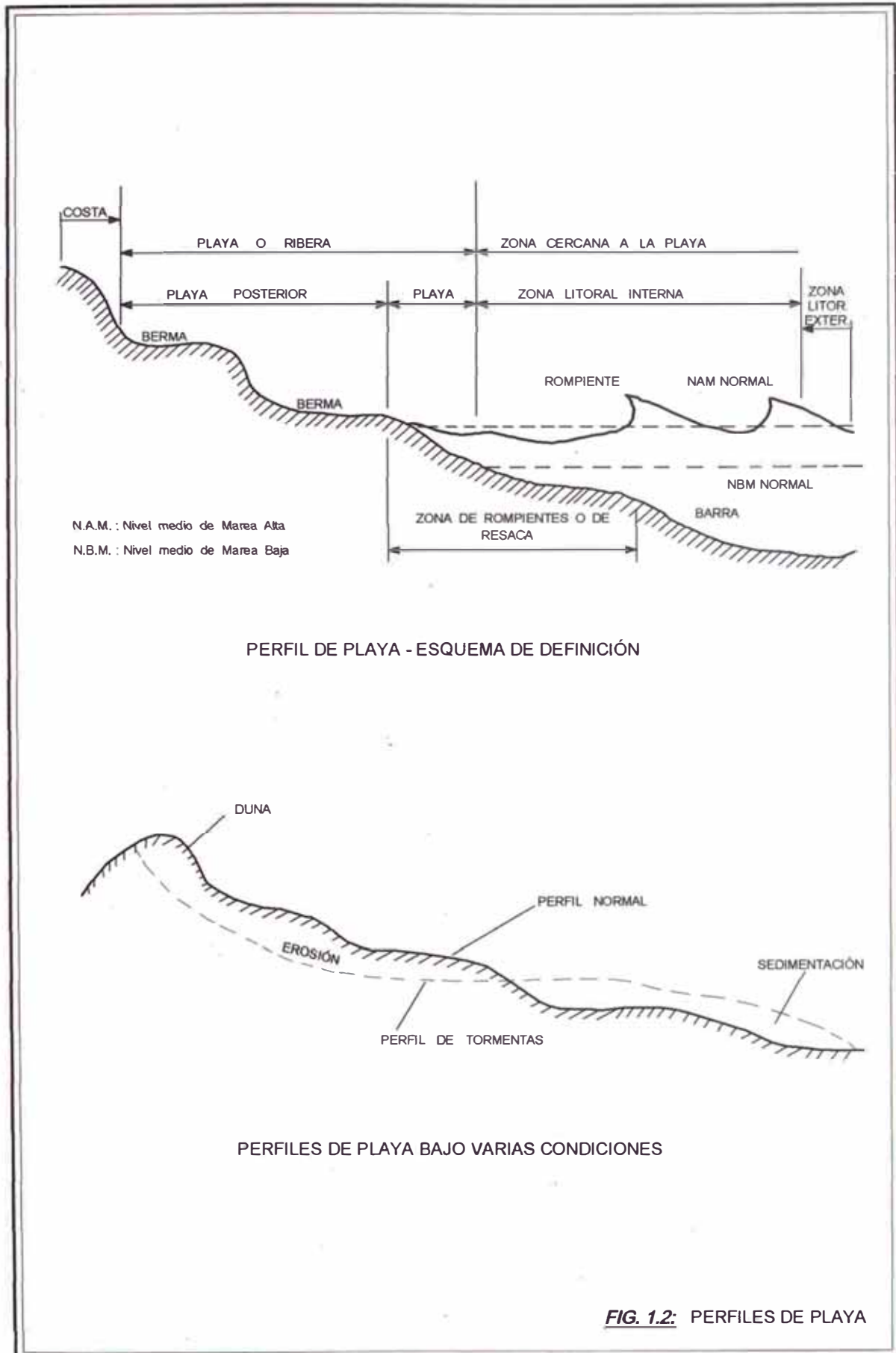
La (**Fig. 1.2**) muestra la sección transversal de una playa. Extendiéndose desde la costa hacia el nivel normal de la marea baja está subdividida en playa anterior y playa posterior. El límite entre estas zonas se encuentra en la coronación de la berma (al punto de máxima sobre elevación de las olas en condiciones normales). La zona de rompiente se extiende desde el punto donde las olas inician a romper hasta el punto de máxima sobre elevación de las olas. Cerca del borde exterior de la zona de rompientes generalmente se forma una barra.

Las pendientes de las playas dependen estrechamente del tipo de sedimentos. Las playas de arena usualmente poseen pendientes cuyo rango varía entre 1:25 y 1:50; mientras que las playas de gravas aún pueden ser estables con una pendiente de 1:4.

- **EQUILIBRIO DINÁMICO DE UNA PLAYA**

En condiciones normales una playa puede hallarse en equilibrio dinámico, lo cual quiere decir que pueden existir movimientos de material de la playa.

Durante tormentas las olas altas en combinación con la elevación del nivel de las aguas debido a la acción de las olas y el viento erosionaron la parte superior de las playas mientras que en periodos de calma el transporte resultante puede ser dirigido nuevamente en dirección de la playa. Ver (**Fig. 1.2**).



FUENTE: Tesis "Defensa Ribereña y Rehabilitación de la Av. Costa Verde", Luis Alberto Portalino Segundo.



La presencia de dunas puede ser importante por constituir una zona de amortiguación contra la erosión costera. La acción del viento en una playa costera seca tiene la tendencia a largo plazo de formar depósitos de arena. Parte de esta arena puede ser temporalmente erosionada, pues la barra prelitoral creada por el ataque de las olas en tormenta actuará como una barrera protectora en la cual rompen las olas. Después de la tormenta el proceso de formación de depósitos de arena volverá a empezar.

## 1.2 MOVIMIENTO DE LAS AGUAS MARINAS

El mar está siempre en constante movimiento a raíz de la poca cohesión intermolecular del agua, que lo hace un medio fácilmente deformable ante la presencia de los diferentes factores de movimiento, tales como: el viento, los movimientos de los astros, las variaciones de temperatura y salinidad, entre otros.

### 1.2.1 OLAS CORTAS

En las aguas del mar existen movimientos ondulatorios que son provocados por diferentes factores. Aquellos movimientos que tienen una periodicidad, un ritmo y que se desarrollan en la superficie del agua se denominan olas.

En el diseño de estructuras portuarias, el estudio de las olas del mar es de vital importancia para el diseño de los muelles, rompeolas, y otras obras marinas.

El comportamiento de las olas depende de su ubicación con relación al radio de acción del viento que las genera. Las olas que actúan muy cerca de dicho radio son cortas, de distintos tamaños, y tienen un movimiento desordenado y carente de ritmo.

Conforme las olas se van alejando del radio de acción del viento, éstas presentan crestas largas bien definidas, y su movimiento se va volviendo más ordenado y rítmico, pudiéndose propagar a miles de kilómetros. Al aproximarse a las costas las olas logran disiparse. Se distinguen dos grandes tipos de olas:

- **OLAS SEA U OLAS FORZADAS**

Se denominan así por encontrarse dentro de su zona de generación bajo la acción de los vientos. Son causadas por los vientos locales que soplan frecuentemente por las tardes con velocidades de 6 a 7 m/seg, llegando en casos extremos a velocidades mayores de 10 m/seg como los famosos



vientos de Paracas. Este tipo de olas se caracteriza por ser de periodo corto, tener poca longitud y gran peralte; además de carecer de ritmo y armonía.

- **OLAS SWELL U OLEAJE LIBRE**

Son generados en una zona de viento al sur de nuestro continente, en la llamada zona de tormentas o tierra del fuego entre los 18° a 22° de longitud y 45° a 50° de latitud sur, frente a la costa de Chile. Se propagan de sur a norte, desde aguas profundas hacia aguas poco profundas, pudiendo llegar a cubrir grandes distancias en todo su recorrido. **(Fig. 1.3)**.

Las olas Swell se caracterizan por ser de mayor longitud, altura, periodo, orden y armonía que las olas Sea. Estas olas son las más importantes para el estudio dentro de la ingeniería de costas.

En una ola se distinguen la altura ( $H$ ), que es la distancia entre la cresta y el valle; la longitud ( $L$ ), que es la distancia entre dos crestas sucesivas; y el periodo ( $T$ ), tiempo en segundos que separa el paso de dos crestas sucesivas por un mismo punto. Ver **(Fig. 1.4)**

La velocidad de propagación de la ola ( $C$ ), es el cociente que resulta de dividir la longitud por el periodo:

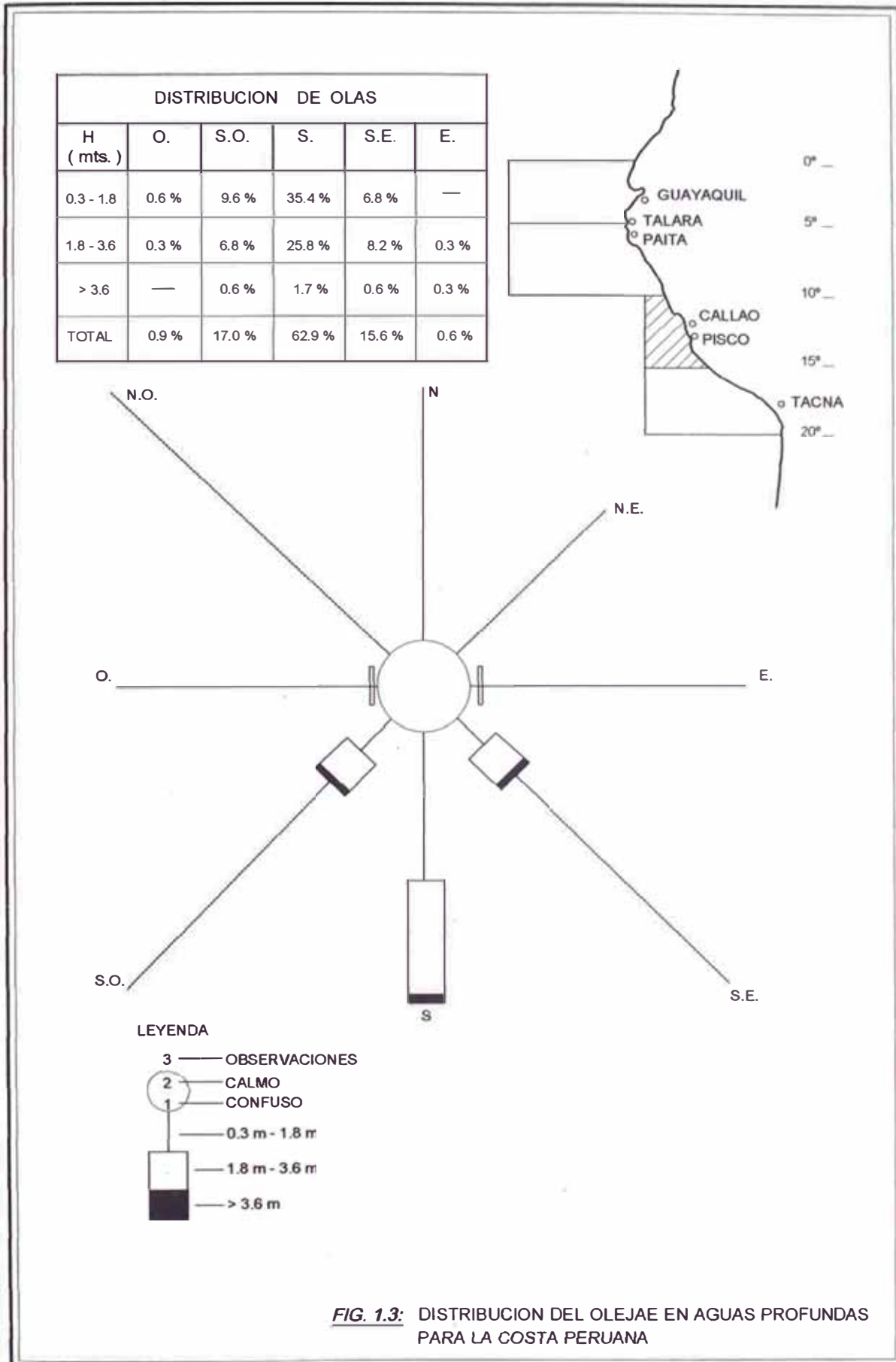
$$C = \frac{L}{T}$$

La altura y el periodo aumentan por la acción del viento, y a partir de un cierto momento la altura crece proporcionalmente más que la longitud, de manera que la forma de la ola se hace más convexa. Cuando la relación entre la altura y la longitud es superior a 0.14, la ola se rompe.

Las olas al acercarse a la playa sufren un fenómeno de frenado en su parte inferior por fricción contra el fondo, por lo que la ola pierde equilibrio y acaba desplomándose. La bolsa de aire encerrada experimenta un brusco aumento de presión y estalla, dando lugar al clásico aspecto de rompientes.

### **ROMPIENTE DEL OLEAJE**

Es el proceso de disipación de la energía de la ola, y ocurre cuando la velocidad de las partículas de la cresta excede a la velocidad de propagación de la ola misma. Este proceso se origina por un fenómeno de frenado en la parte inferior de la ola por fricción contra el fondo al acercarse a la playa, por lo que la ola



**FIG. 1.3:** DISTRIBUCION DEL OLEJAE EN AGUAS PROFUNDAS PARA LA COSTA PERUANA

FUENTE: Sailing Direction South America (Setiembre 1976).

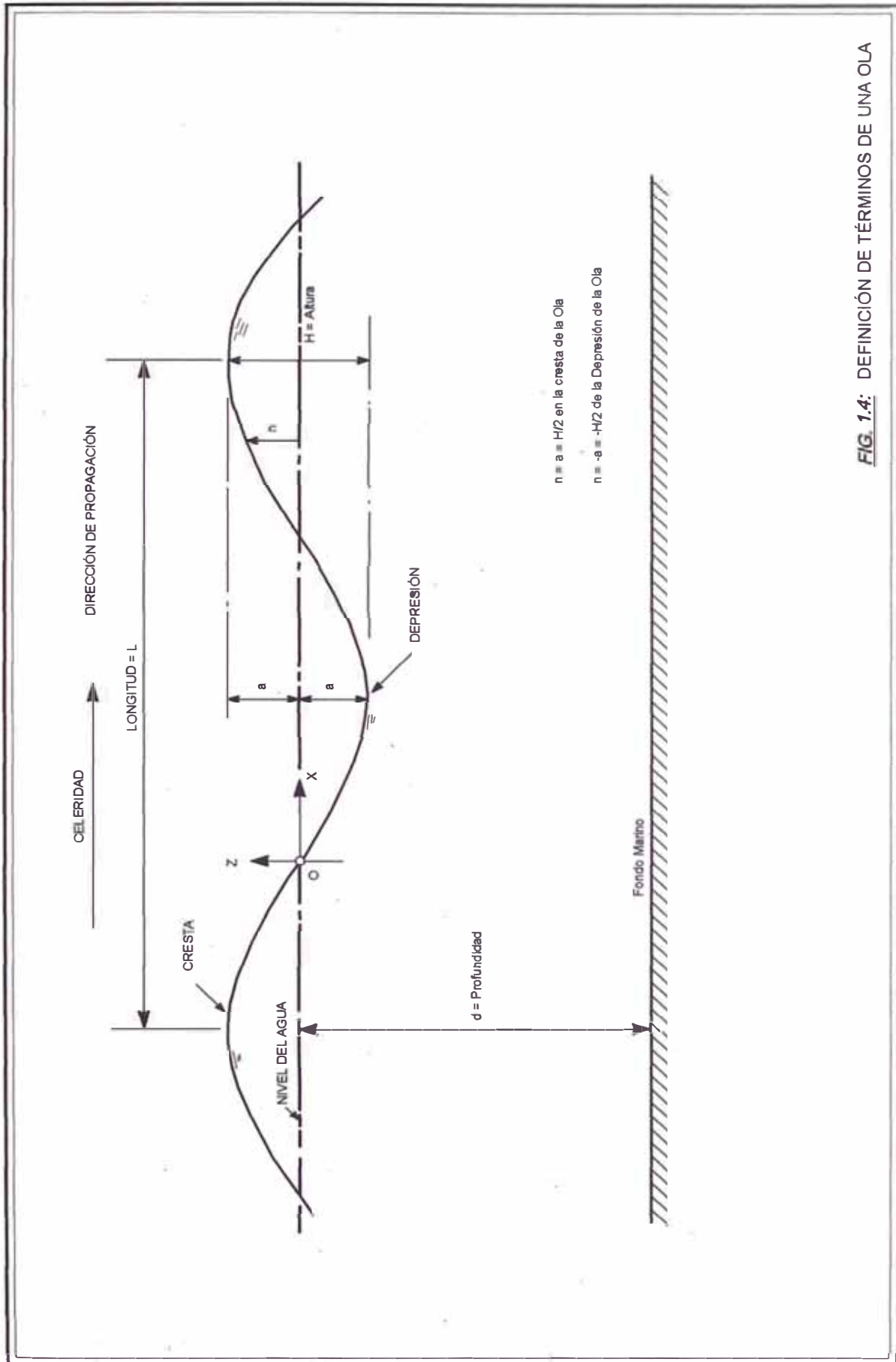


FIG. 1.4: DEFINICIÓN DE TÉRMINOS DE UNA OLA

FUENTE: "Ingeniería Portuaria", César Fuentes Ortiz.

pierde equilibrio y acaba desplomándose. La bolsa de aire encerrada experimenta un brusco aumento de presión y estalla, dando lugar al clásico aspecto de rompientes.

En aguas poco profundas, el rompimiento de las olas sucede normalmente cuando la ola alcanza profundidades iguales a casi cinco cuartos de su altura; sin embargo, podría romper en aguas más profundas, dependiendo de la fuerza del viento y de las condiciones del fondo marino.

En aguas profundas el rompimiento puede producirse cuando la altura de la ola excede un séptimo de la longitud de ola. Ver (**Fig. 1.5**)

Por la forma de disipar su energía, las olas rompientes se clasifican en:

- **SPILLING (continua)**

Se origina en las playas con pendientes muy tendidas, casi horizontales. Las olas disipan su energía desde una distancia relativamente alejada de la orilla y lo hace de manera muy gradual, desarrollando una gran formación de olas con espuma en las crestas.

Su zona de rompiente es muy ancha. Produce muy poca reflexión de energía hacia el mar, razón por la cual se puede producir una severa erosión en este tipo de playas.

- **PLUNGING (rodante)**

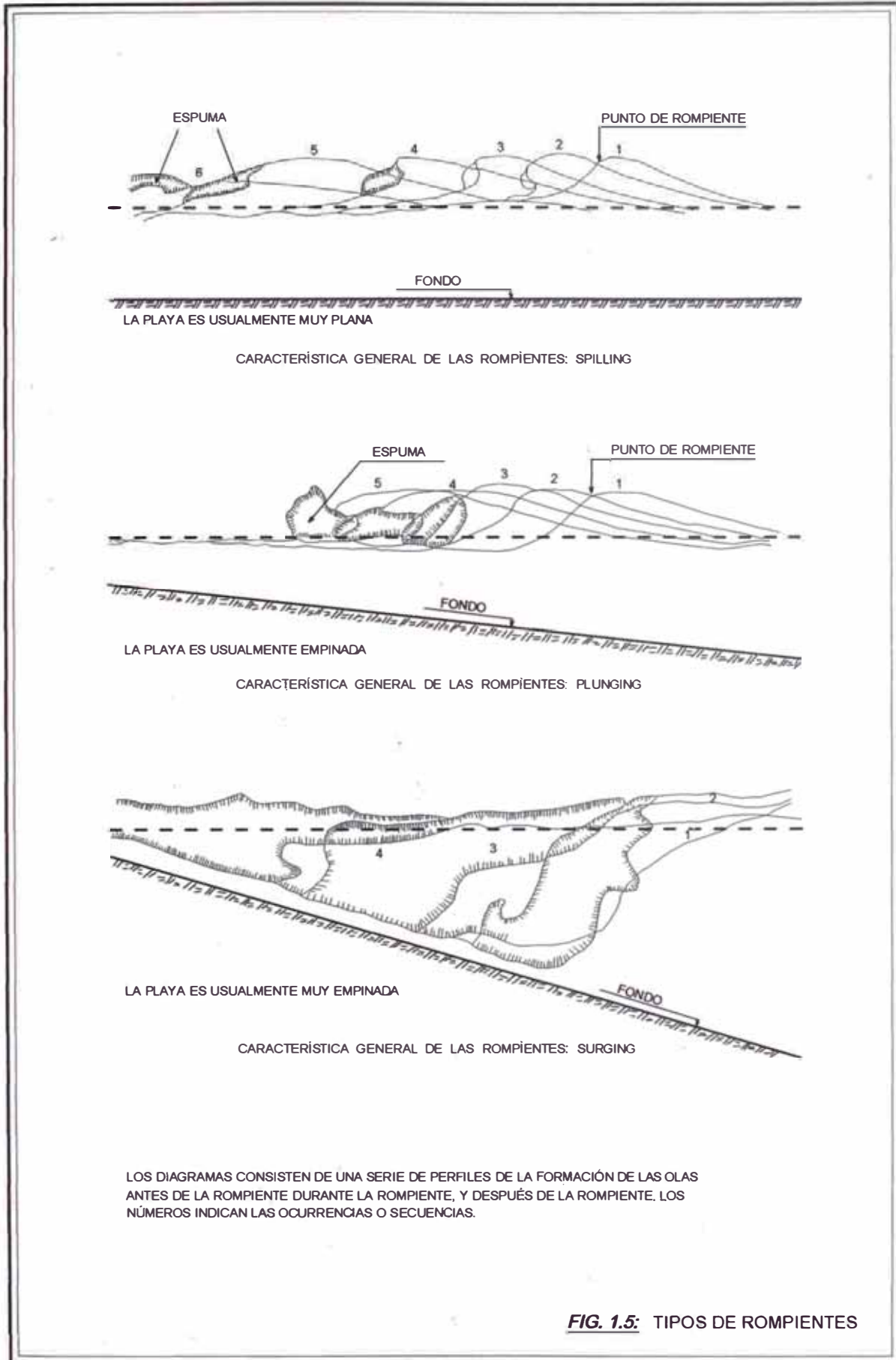
Este tipo de rompiente es muy espectacular. Gran parte de la energía se disipa en forma de turbulencia y una parte por reflexión, aunque relativamente mayor que la de tipo spilling.

Este tipo de rompiente es el que genera mayor peligro para la estabilidad de un rompeolas.

- **SURGING (ondulante)**

Se produce en costas con pendientes extremadamente empinadas, tales como se podría encontrar en playas rocosas. La zona de rompiente es muy estrecha, y generalmente más de la mitad de la energía de la ola se refleja hacia el mar.

La clasificación cuantitativa de las olas rompientes se puede hacer de acuerdo al número de Iribarren ( $I$ ), en el cual se define como:



FUENTE: Tesis "Defensa Ribereña y Rehabilitación de la Av. Costa Verde", Luis Alberto Portalino Segundo.

$$I = \frac{m}{H/L_0}$$

Donde:

$m$  : pendiente de la playa.

$L_0$  : longitud de la ola en aguas profundas.

$H$  : altura de la ola, que podría ser igual a la altura de la ola en aguas profundas ( $H_0$ ) o a la altura de la ola rompiente ( $H_b$ ), en cuyo caso el número de Iribarren se presentará como  $I_0$  o  $I_b$ , respectivamente.

### 1.2.2 MAREAS

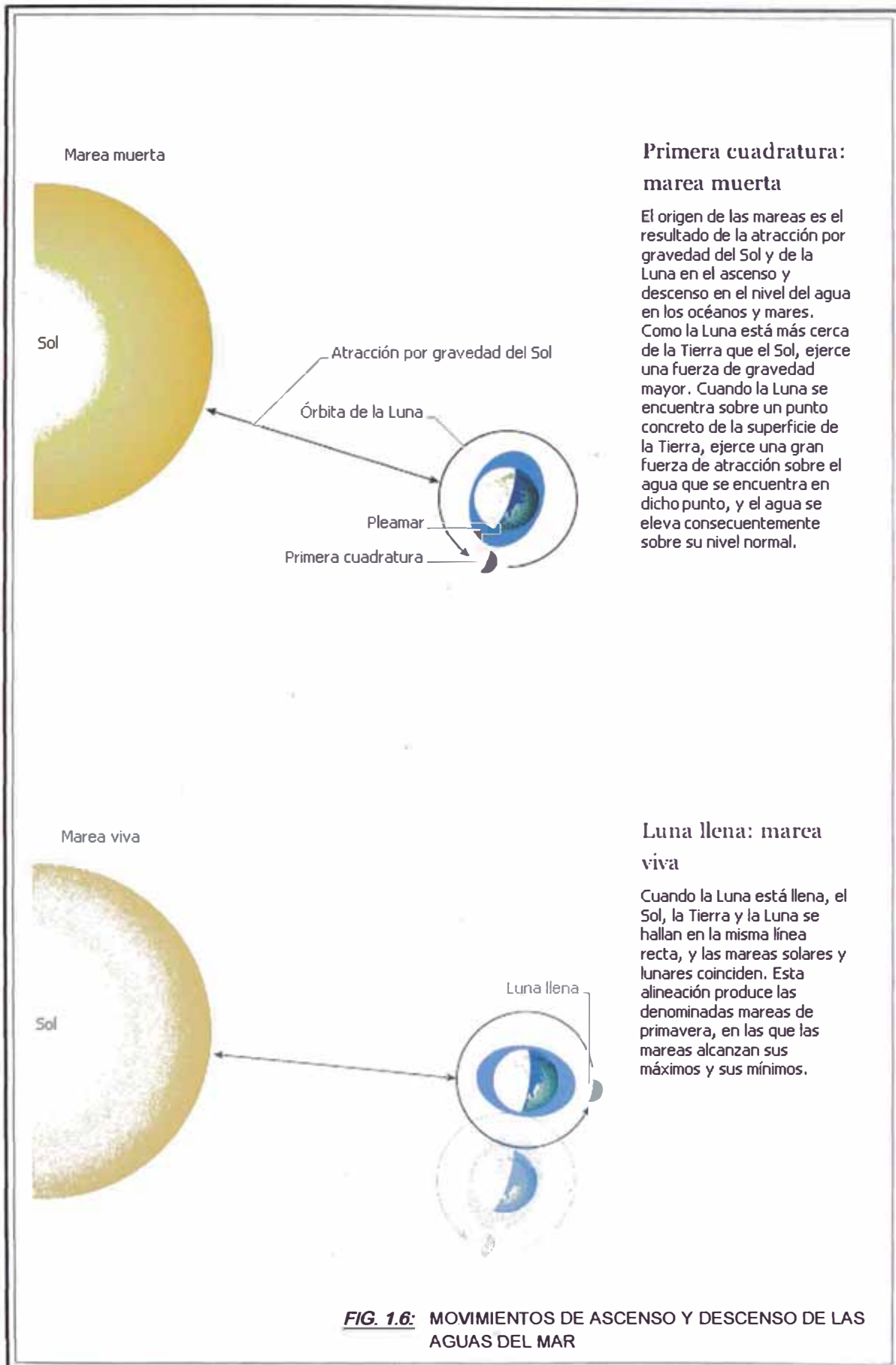
Las mareas son movimientos de ascenso y descenso periódico del nivel de aguas oceánicas producidas por las atracciones gravitatorias que ejercen los astros, principalmente el sol y la luna.

El movimiento de ascenso del nivel se denomina “flujo o creciente”, y el de descenso “reflujo o vaciante”. El nivel más alto alcanzado recibe el nombre de “pleamar”, y el más bajo, “bajamar”. La diferencia de alturas entre la pleamar y la bajamar constituye la “amplitud o altura de marea”.

De acuerdo con la ley de gravitación universal formulada por Newton, la intensidad de las mareas varía directamente en relación con la masa e inversamente con el cuadrado de la distancia de los cuerpos celestes (la Tierra, el Sol y la Luna). A pesar de que la luna es menor que el sol, su influencia sobre las mareas es mayor que la del sol debido a su mucha menor distancia hacia la tierra.

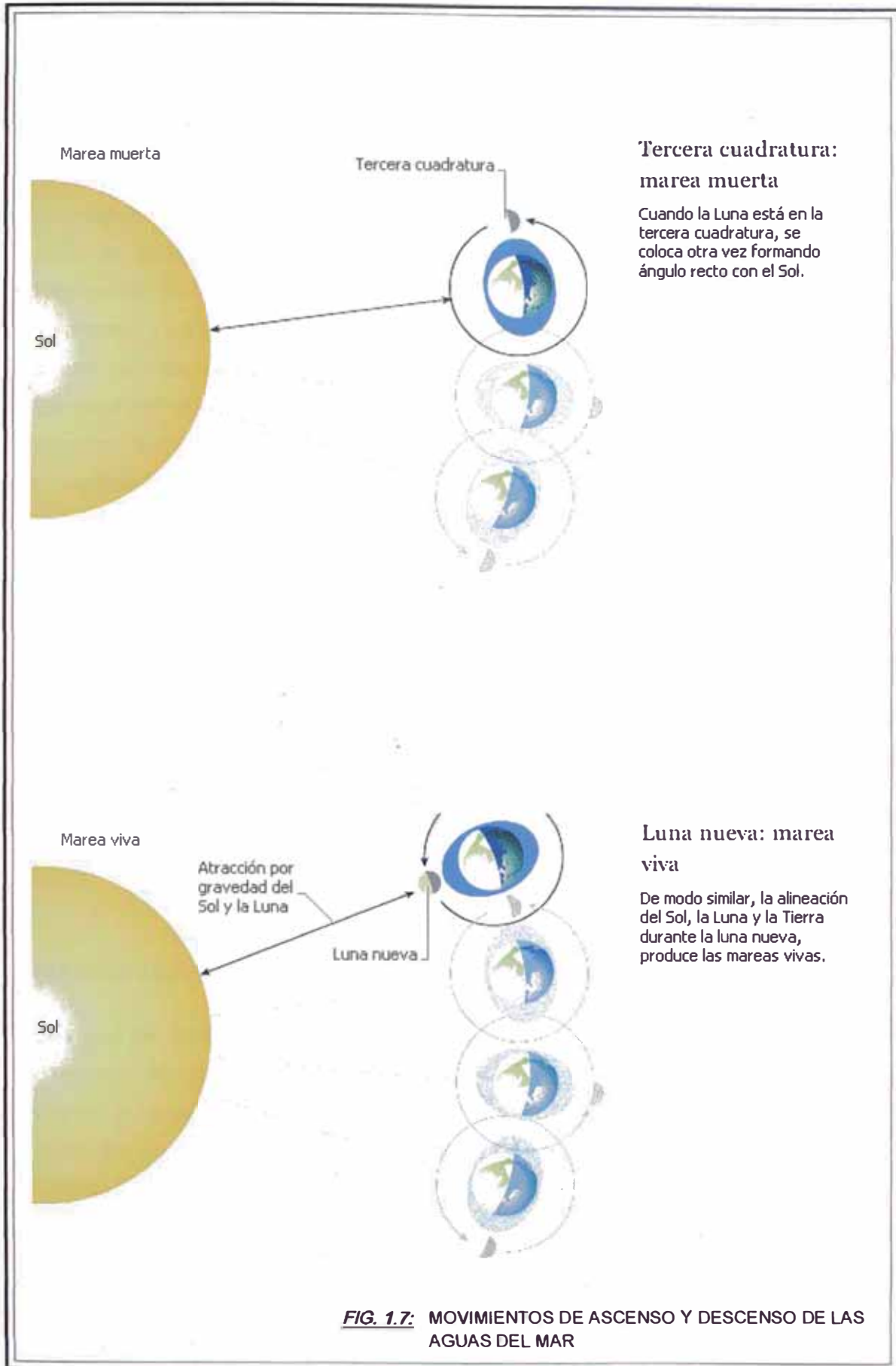
Las mareas mas altas ocurren a intervalos de medio mes lunar y se les conoce como “mareas vivas o sicigias”. Esto sucede cuando los efectos atractivos del sol y la luna se suman; es decir, ambos astros se ponen en conjunción (luna nueva) o en oposición (luna llena). Si además la conjunción se da en el momento en que el sol y la luna se encuentran a mínima distancia de la tierra, su atracción será máxima, produciéndose las “mareas extraordinarias o esorada”, siendo las mayores en los equinoccios. Ver (**Fig. 1.6** y **Fig. 1.7**).

Por el contrario, cuando los astros se ponen en cuadratura (luna cuarto creciente o cuarto menguante), los efectos se contrarrestan, produciéndose las mareas mas bajas del mes, llamadas “mareas muertas o de cuadratura”. Si además la



FUENTE: "Biblioteca de Consulta 2005", Microsoft Encarta.





FUENTE: "Biblioteca de Consulta 2005", Microsoft Encarta.



cuadratura se produce en el momento en que el sol y la luna se encuentran a máxima distancia de la tierra, es decir en solsticios, se producirán las “mareas mínimas”.

Para el estudio de una obra portuaria se deberá tomar en cuenta la altura de la marea del lugar, para hacer las correspondientes correcciones en el levantamiento batimétrico. Estos datos de alturas pueden ser obtenidos de la tabla de mareas, elaboradas en el Perú por la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina. En dichas tablas se indican las alturas horarias de los pleamares y bajamares pronosticadas para cada día del año en un determinado puerto de la costa.

En cada sitio donde se efectúan mediciones de campo, siempre se establece la relación entre los pronósticos de la Tabla de mareas y los niveles correspondientes provenientes del registro de mareas. Esta comparación se requiere en primer lugar para establecer el nivel de referencia MLWS y también indica el grado de exactitud de los pronósticos de la Tabla de mareas.

Los niveles característicos tales como el:

MLWS : Promedio de las mareas bajas de sicigias ordinarias.

(Mean Low Water Spring)

MLW : Promedio de las mareas bajas (Mean Low Water)

MSL : Nivel promedio del mar (Mean Sea Level)

MHW : Promedio de las mareas altas (Mean High Water)

MHWS: Promedio de las mareas altas de sicigias ordinarias

(Mean High Water Spring)

### **MAREAS QUE INCIDEN SOBRE LA COSTA PERUANA**

Las olas de mareas que llegan a la costa del Perú son originadas en el mar alrededor del Polo Sur, y de allí hacia el norte. Acercándose a las costas de Centro América, las olas giran a la derecha alrededor de un punto, conocido como Punto Anfídromo o Anfidrómico, debido a la influencia de la fuerza de Coriolis y las distintas profundidades del mar.

Debido a la geometría de la costa, en forma de embudo en Centro América, se produce un aumento considerable en las alturas de las olas de mareas hasta unos 4 metros cerca de la costa de Panamá.

Si observamos la (**Fig. 1.8**), las crestas de las olas de mareas llegan a la costa de Talara y de allí parten en dirección sur. Al norte de Talara la dirección de propagación es invertida; es decir, hacia el norte.

La amplitud de la ola de marea disminuye lentamente hacia el sur. La ola de marea necesita unas 4 o 5 horas para su viaje de Talara e Ilo, lo que significa una velocidad de propagación alrededor de 350 Km/h.

## **CORRIENTES DE MAREA**

La elevación y descenso periódico del nivel del mar genera movimientos notables en las masas líquidas, sobre todo en zonas costeras en donde la comunicación con el mar abierto está relativamente restringida (estuarios, bahías, entradas a puertos, desembocaduras, estrechos, etc.) y genera las llamadas corrientes de marea. En la costa peruana estas corrientes son pequeñas y no tienen influencia con las decisiones portuarias.

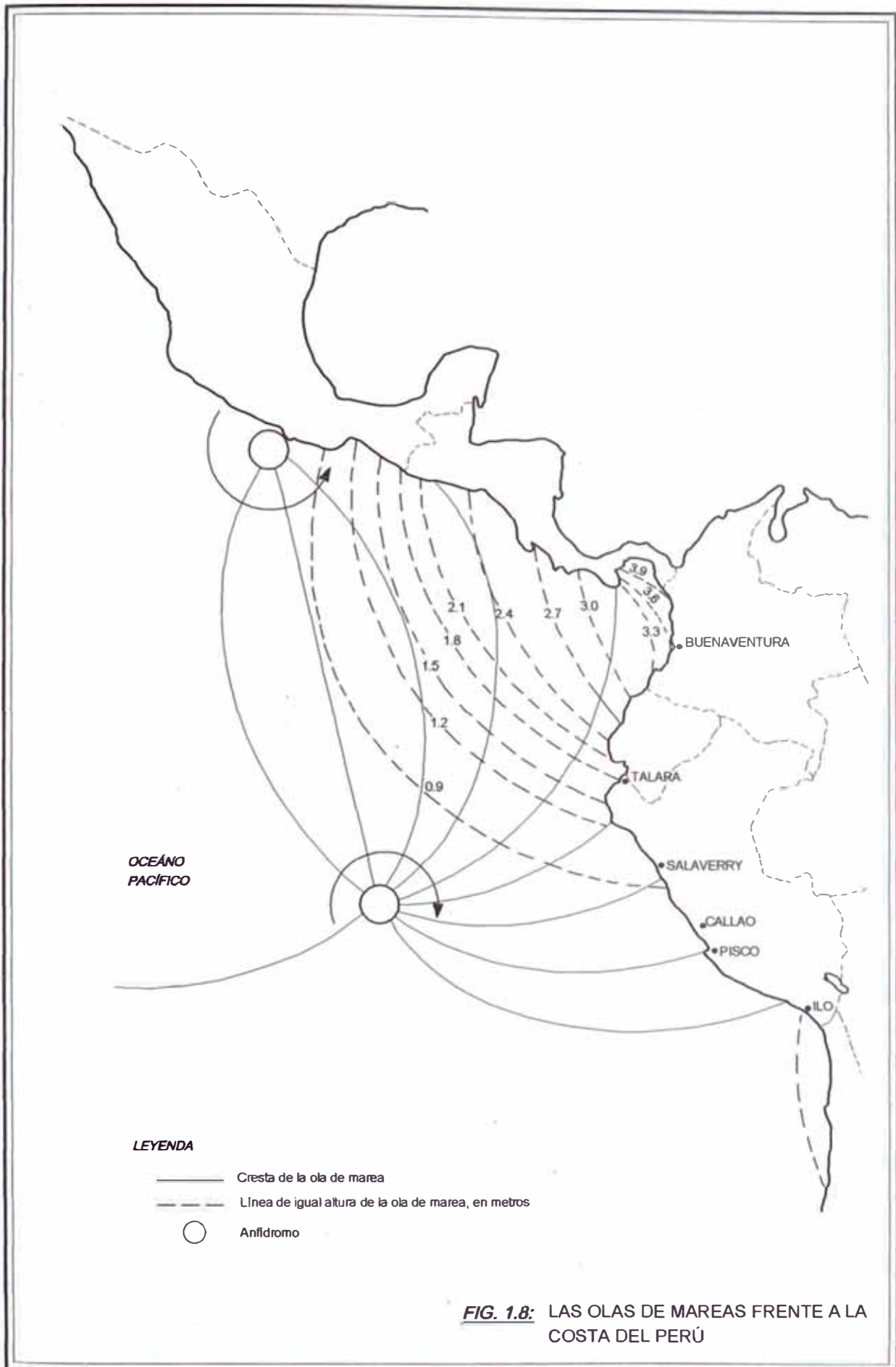
### **1.2.3 CORRIENTES MARINAS**

A diferencia de las olas, las corrientes marinas no constituyen un fenómeno de carácter periódico, dado que son movimientos de arrastre o traslación de una gran masa de agua que se presentan en diferentes profundidades del mar.

Entre los factores que originan podemos mencionar: la acción de los vientos sobre la superficie del agua, el movimiento de rotación de la tierra, la diferencia de temperatura y salinidad de las aguas del mar, la diferencia de densidades de las masa de agua en contacto, el rompimiento de las olas, la sobre elevación del nivel medio del mar, la influencia del fondo marino y la topografía de la costa, entre otros.

## **CAUSAS DE LAS CORRIENTES MARINAS**

La tierra constituye una inmensa máquina térmica; el calor recibido del sol se distribuye en forma desigual entre los Polos y el Ecuador, lo que provoca en último término una circulación que afecta tanto a la atmósfera (vientos), como al Océano (corrientes), las diferencias de las temperaturas entre los Polos y el Ecuador provocan la circulación general de la atmósfera; los vientos a su vez ponen en movimientos las masas de agua, y estas constituyen las corrientes marinas. En el mar del Perú incursionan varias corrientes marinas de las cuales son importantes: la Corriente peruana y la corriente del Niño.



**FIG. 1.8:** LAS OLAS DE MAREAS FRENTE A LA COSTA DEL PERÚ

FUENTE: "Ingeniería Portuaria", César Fuentes Ortiz.

## **LA CORRIENTE PERUANA**

Esta corriente es llamada también de Humboldt, es de aguas frías y recorre nuestro litoral de sur a norte, a una velocidad de 28 Km/día. Tienen un ancho promedio que varía entre 185 y 370 Km, según sea verano o invierno respectivamente. Esta corriente forma parte del gran movimiento circulatorio de las aguas del Pacífico Sur. **(Fig. 1.9)**.

El mar del Perú, frente a la costa central y meridional tiene aguas frías y como tal ejerce una influencia decisiva en el clima de la costa. La frialdad de las aguas hace que el clima de la costa sea diferente a lo que corresponde por su latitud.

## **LA CORRIENTE DE EL NIÑO**

Esta corriente de aguas templadas (24 a 28 grados centígrados), procede del Golfo de Guayaquil, llega hasta las costas de Piura y ejerce su influencia en el extremo norte del Perú, recorriendo sus costas de norte a sur. **(Fig. 1.10)**.

Cuando la corriente de El Niño ingresa a la costa norte del Perú, la temperatura del mar aumenta y se produce una mayor evaporación de las aguas marinas. Esta evaporación al llegar a la cordillera precipita en forma de lluvia y sus aguas van a dar a los ríos, provocando un aumento considerable de su caudal y produciendo desbordes e inundaciones en la zona. A estos eventos extremos se les denomina el Fenómeno de El Niño.

### **1.3 ROMPEOLAS DE ESCOLLERA**

Un rompeolas es una estructura marina, que tiene como función principal el de formar un puerto artificial protegiendo una determinada zona del efecto de la acción de las olas, para proporcionar alojamiento seguro a las embarcaciones.

Existen básicamente dos tipos preferidos en la construcción de rompeolas: el de terraplén y el de muro o pared.

El tipo de rompeolas a ser utilizado, se determina usualmente por la disponibilidad de los materiales cerca del lugar, por la profundidad de agua, por la condición del fondo del mar, por su función en el puerto, por el equipo apropiado y la disponibilidad de éste en la construcción del rompeolas.

La elección de uno u otro tipo de rompeolas se basa en razones de orden técnico, económico y constructivo. Por ejemplo, técnicamente es obligado el del tipo terraplén, en el caso de que la profundidad del fondo en la ubicación de la

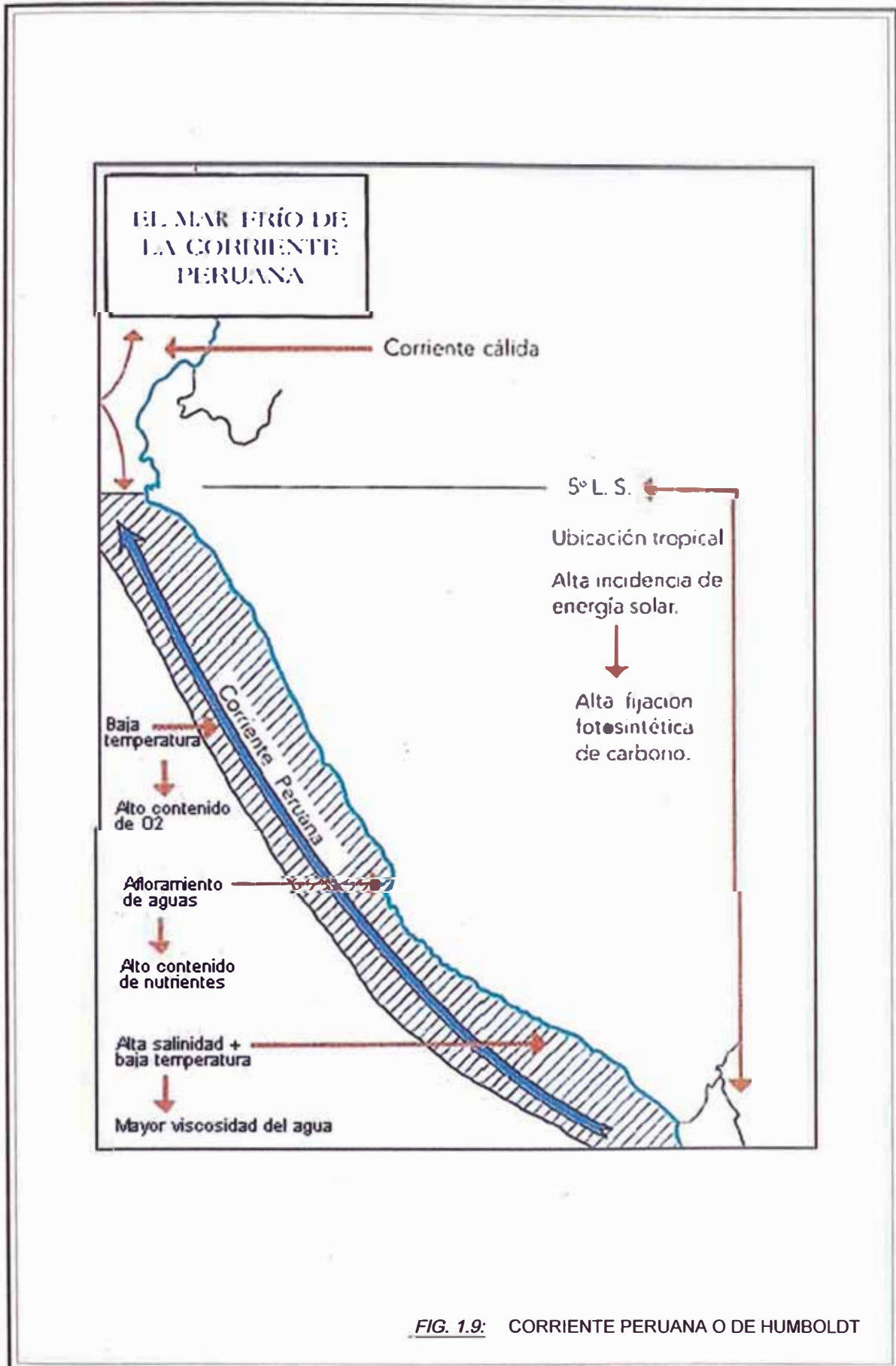


FIG. 1.9: CORRIENTE PERUANA O DE HUMBOLDT

FUENTE: Microsoft Encarta 2005.



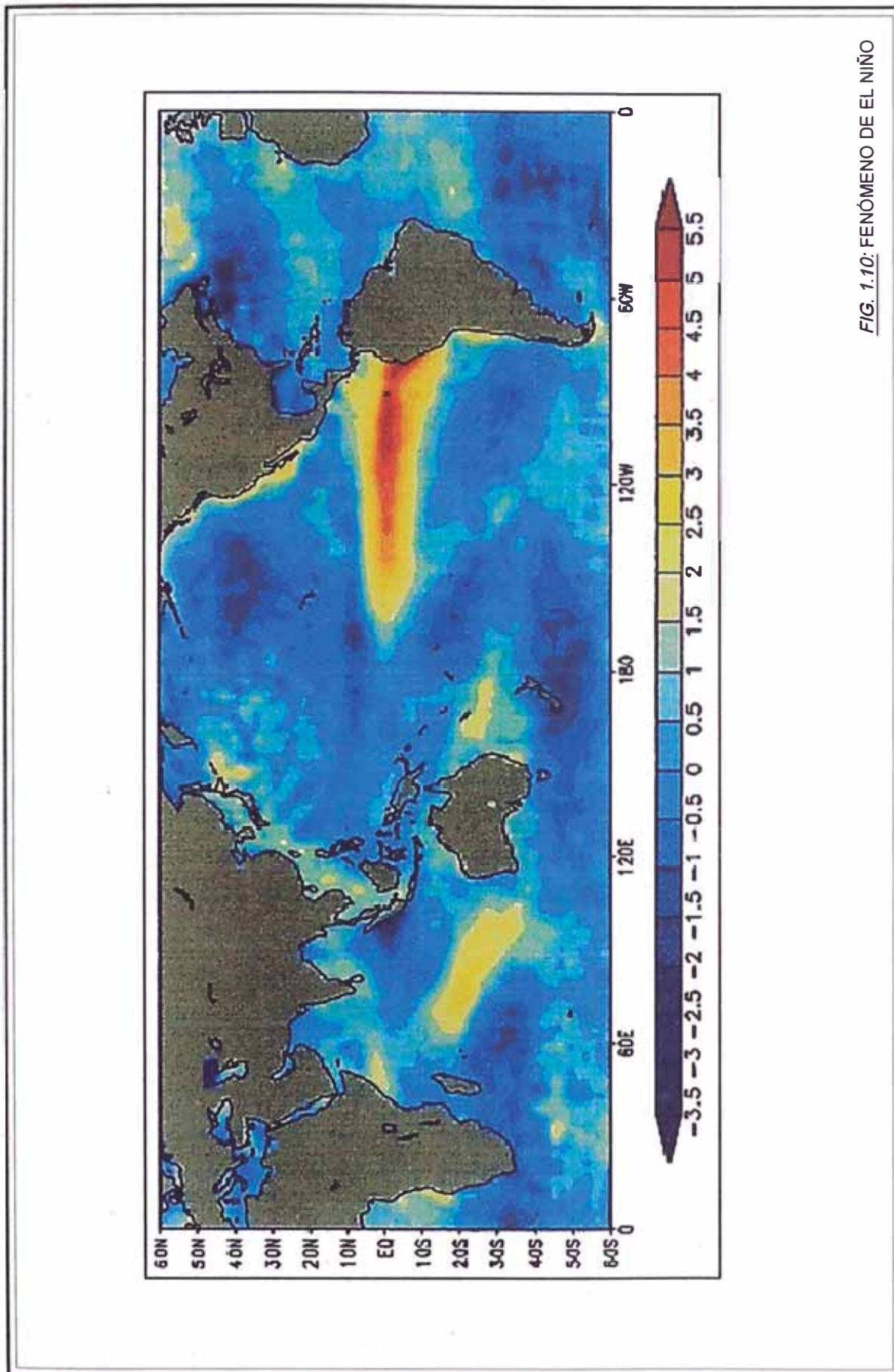


FIG. 1.10: FENÓMENO DE EL NIÑO

FUENTE: Microsoft Encarta 2005.

obra, sea menor que la necesaria, para que la ola máxima se refleje sin romper. También es aconsejable el tipo de terraplén deformable, en el caso de que el fondo esté formado por suelos que puedan originar excesivos asentamientos.

La abundancia de roca durable, y el mejor conocimiento de los métodos de explotación de cantera, para producir grandes cantidades de roca a costos económicos, ha llevado en mayor medida a la aceptación de los rompeolas de escolleras que cualquier otro tipo en la protección de puertos a lo largo de las costas americanas.

Puesto que la roca, es uno de los principales materiales utilizados en la construcción de los rompeolas, su disponibilidad tendrá que ser investigada, y en este respecto, no sólo será necesario, determinar si es factible económicamente producir y entregar en la obra una cantidad suficiente de roca, sino también analizar la densidad, solidez y la capacidad de ésta para fragmentarse, ya que son factores importantes para decidir su uso.

### ***FUNCIÓN***

Según *Fuentes Ortiz* <sup>(12)</sup>, las funciones de un rompeolas son:

#### **a) PROTECCIÓN CONTRA EL OLEAJE**

La función más obvia es el dar protección contra las olas. Pudiendo ser ésta para el canal de aproximación de un puerto o para el puerto mismo, ayudando de esta manera a la navegación y a la carga y descarga de las embarcaciones.

#### **b) REDUCIR LA CANTIDAD DE MATERIAL DE DRAGADO**

Un rompeolas puede servir también para reducir la cantidad de sedimentos (arena) en la entrada de un puerto, como resultado de la interrupción del transporte de sedimentos hacia el canal de aproximación.

#### **c) SERVIR COMO MUELLE**

En zonas costeras donde no existe o haya poca protección natural (bahías), el rompeolas puede funcionar también como muelle. Esta doble función es económica en términos del área del puerto, pero para eso se requerirá un tipo diferente de rompeolas que tenga en cuenta el no sobre paso de las olas.

#### d) DESVIACIÓN DE CORRIENTES

Un cuarto propósito importante de un rompeolas puede ser el de desviar las corrientes peligrosas en un canal de aproximación de un puerto, concentrándose artificialmente a una determinada profundidad. Una corriente transversal constante en un canal de aproximación puede hacer que la navegación hacia un puerto sea peligrosa.

### MÉTODOS PARA REDUCIR LA ACCIÓN DE LAS OLAS

Según *Fuentes Ortiz* <sup>(12)</sup>, los métodos para reducir la acción de las olas son:

- **MÉTODO DEL TERRAPLÉN**

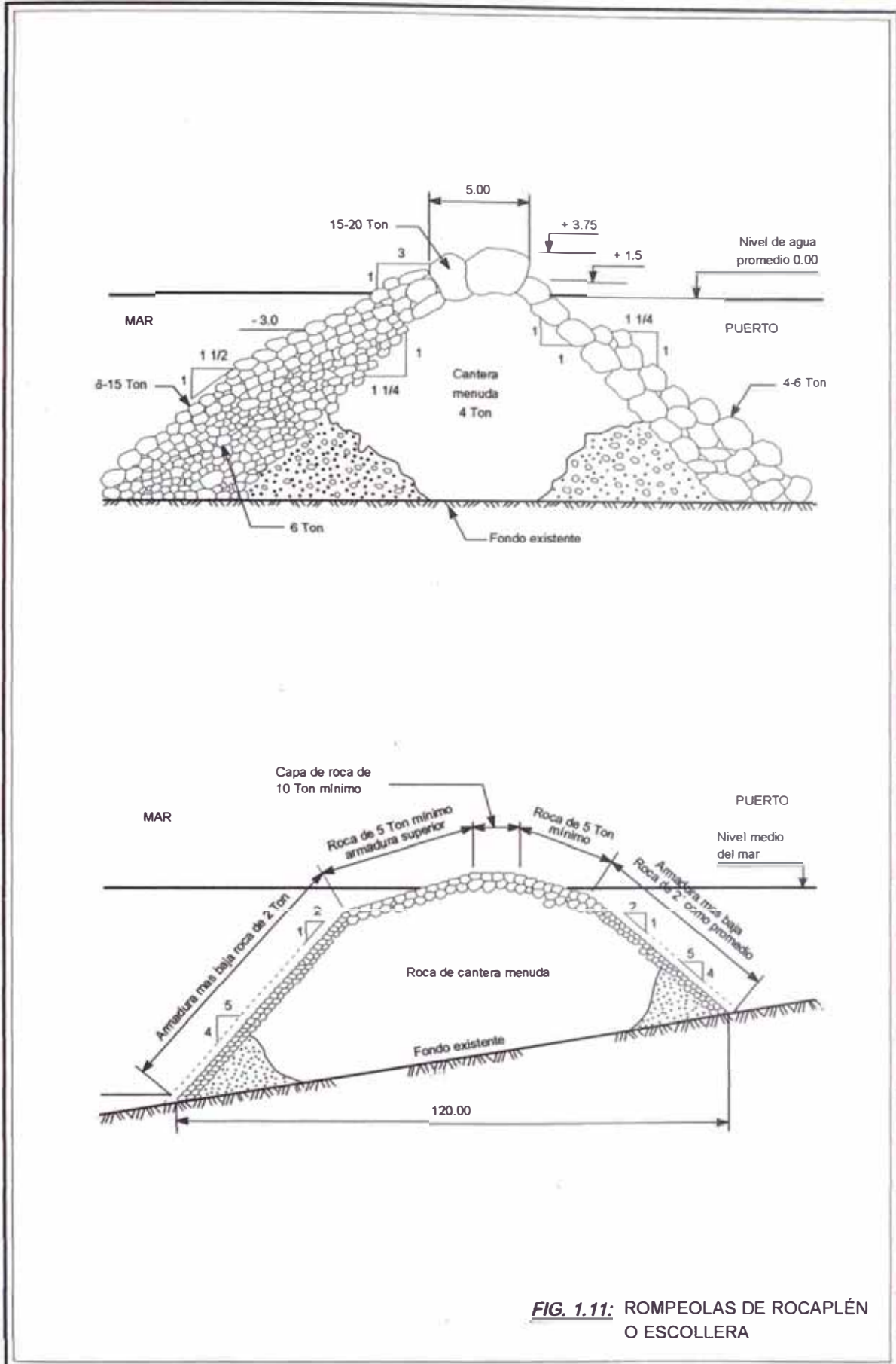
Este método consiste en la disipación de la energía de las olas por intermedio de una estructura ya sea artificial o natural que presente al oleaje un talud inclinado. Como extremo de éstas estructuras, las playas disipan la energía de las olas en un periodo relativamente largo a comparación de otros métodos. La disipación de esta energía se puede manifestar por una disminución de la altura de la ola, por turbulencia, por generación de calor y energía sonora, por la formación de otras olas y por la generación de corrientes. Un rompeolas de ésta variedad en procura de destruir completamente el oleaje, requeriría de una gran playa, es decir, que su sección transversal tendría que ser muy ancha, que en aguas relativamente profundas sería impracticable. **(Fig. 1.11).**

- **MÉTODO DE LA PARED**

Consiste en la construcción de una pared de suficiente tamaño y resistencia, de tal forma que las olas sean totalmente reflejadas y destruidas por la acción de la rompiente. El cambio en un periodo corto, del momentum de la ola y su rotura, es causa de grandes fuerzas sobre la pared. Por lo tanto el rompeolas de este tipo deberá ser resistente y sólidamente construido.

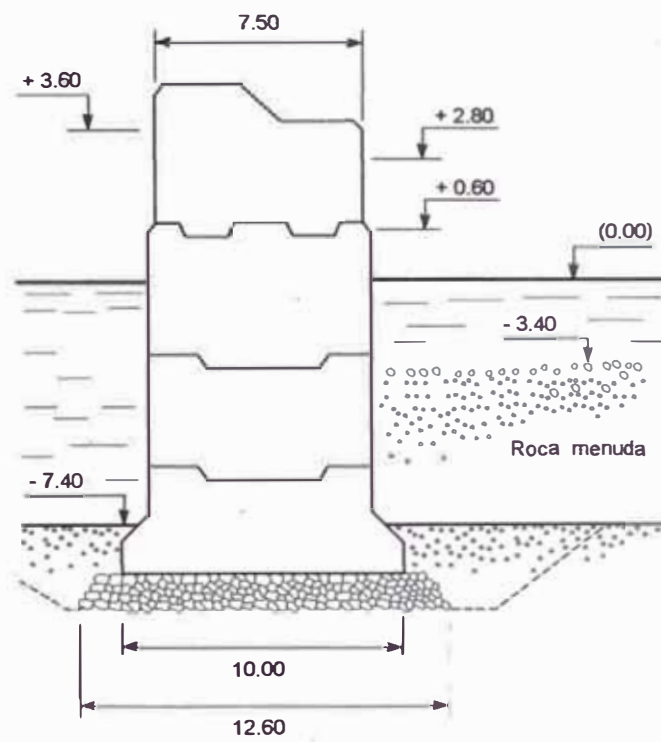
El designar, como es frecuente, a los diques verticales con la denominación genérica de rompeolas es un contrasentido, pues su característica es precisamente evitar la rotura de la ola. Los diques de pared vertical, difieren con los de tipo de terraplén en la manera de resistir la acción de las olas, la pared vertical refleja las olas, sin liberar toda la energía destructiva, produciéndose un ondulamiento estacionario. **(Ver Fig. 1.12).**





**FIG. 1.11:** ROMPEOLAS DE ROCAPLÉN O ESCOLLERA

FUENTE: "Ingeniería Portuaria", César Fuentes Ortíz.



**FIG. 1.12:** ROMPEOLAS VERTICAL MACIZO

FUENTE: "Ingeniería Portuaria", César Fuentes Ortíz.

- **MÉTODO DEL AIRE COMPRIMIDO**

Es el proceso para calmar las olas, mediante la inyección de burbujas de aire, por debajo de la superficie de agua. Ver **(Fig. 1.13)**.

El fenómeno de aquietamiento de las olas mediante burbujas de aire hasta la fecha no está muy bien entendido, ciertas investigaciones con los rompeolas neumáticos han concluido que las burbujas de aire al subir a la superficie de agua generan una corriente ascendente que al llegar a la superficie se extiende sobre ésta, y si la empinadura de la ola es la suficientemente baja, disipan su energía. El ciclo es continuo, ya que la momentánea pérdida de agua debida a la corriente ascendente se ve compensada nuevamente por un flujo de remolinos.

Otros estudios experimentales, indican que la atenuación de la ola por un rompeolas neumático no sólo se debe a la corriente superficial originada por los remolinos de aire ascendente y de las corrientes de agua, sino también, a la viscosidad dinámica del agua.

- **MÉTODO DEL CHORRO DE AGUA**

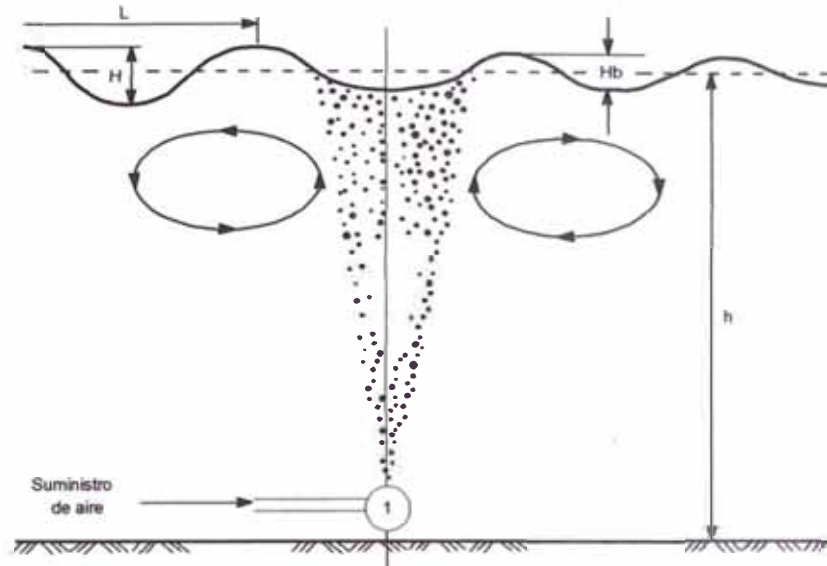
Consiste en la pérdida de la energía del oleaje por turbulencia, originada por una descarga de agua a presión a través de mangueras o de tuberías perforadas, que induce a que una corriente tienda a incrementar la empinadura de la ola y a causar su disipación. Ver **(Fig. 1.13)**.

Los estudios experimentales, indican que la potencia requerida por el rompeolas hidráulico que utiliza el presente método: depende de la longitud y empinadura de la ola, de la profundidad del agua, de la profundidad de la puesta de las mangueras, de sus espaciamientos, y del número de éstas.

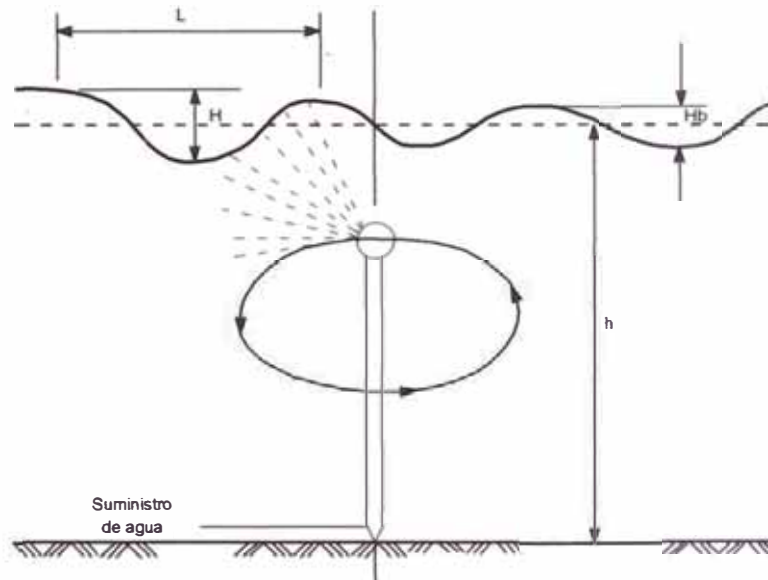
Desde un punto de vista práctico el uso de los rompeolas neumáticos e hidráulicos parece estar sólo limitado como instalaciones secundarias, para:

- El aquietamiento del agua a la entrada de los puertos.
- El mejoramiento de las condiciones de carguíos de productos petroleros en la orilla, y
- La creación de áreas protegidas temporalmente.

Sus limitaciones parecen contener el hecho que lo que mejor producen, es sólo la atenuación parcial de las olas, ya que son muy sensibles al tamaño y a la longitud de la ola.



MÉTODO DEL AIRE COMPRIMIDO (ROMPEOLAS NEUMÁTICO)



MÉTODO DEL CHORRO DE AGUA (ROMPEOLAS HIDRÁULICO)

**FIG. 1.13:** MÉTODOS PARA REDUCIR LA ACCIÓN DE LAS OLAS

FUENTE: "Ingeniería Portuaria", César Fuentes Ortíz.

Aunque el desarrollo de mejores equipos y métodos en la aplicación de estos dos últimos rompeolas para el calmado de las olas, puedan hacer más bajos los costos de operación, y en un rango más amplio de usos, es dudoso que puedan ser elementos idóneos en la formación y protección de grandes puertos.

### 1.3.1 TIPOS DE ROMPEOLAS

Según *Fuentes Ortiz* <sup>(12)</sup>, los tipos de rompeolas son:

#### 1.3.1.1 DE ROCAPLÉN O ESCOLLERA

Es una estructura permanente consistente de capas sucesivas de roca. La capa de la coraza se cubre con roca más pesada. Ver (**Fig. 1.11**).

#### **VENTAJAS**

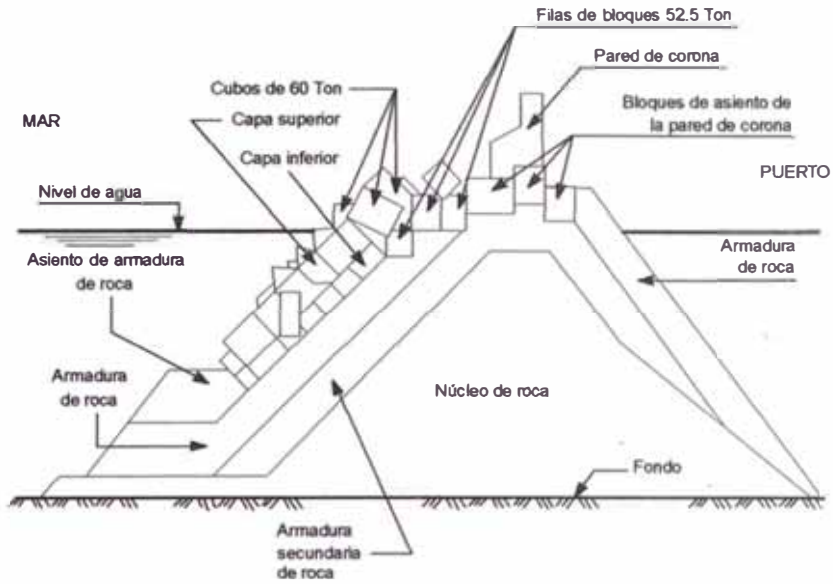
- Muy durable. Resiste muy bien severos ataques de olas.
- Funciona aún cuando esta seriamente dañado.
- Se adapta a fondos que se pueden asentar.
- Generalmente utiliza materiales naturales.
- Se adapta fácilmente a batimetrías irregulares.
- Es posible su construcción con mano de obra poco calificada.
- Utiliza equipo pesado de construcción.
- Se tiene mucha experiencia en este tipo de rompeolas.

#### **DESVENTAJAS**

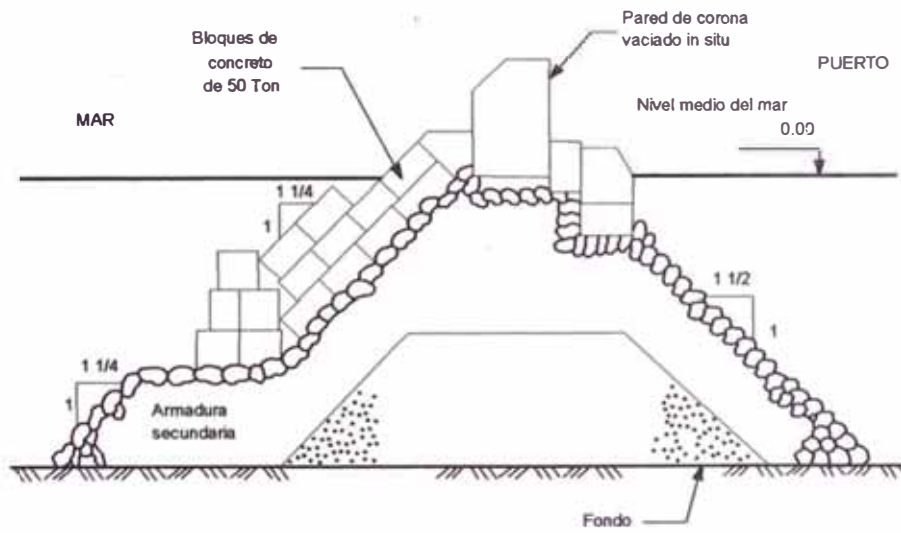
- De todos los tipos de rompeolas utiliza mayor material.
- Debe ser adaptado para la construcción sobre arena, y fondo rocoso.
- Es inadecuado para suelos marinos no estabilizados o en proceso de formación.

#### 1.3.1.2 DE TERRAPLÉN CON UNIDADES DE ARMADURA ARTIFICIAL COLOCADAS ALEATORIAMENTE

Consiste en una estructura permanente consistente de capas de roca y grava protegidas mediante una capa de unidades de armadura artificial colocadas aleatoriamente. Con el fin de ahorrar material puede incorporarse una estructura masiva en la cresta. Ver (**Fig. 1.14**).



ROMPEOLAS ARMADO CON BLOQUES DE CONCRETO MONTADOS DE FORMA DESORDENADA



ROMPEOLAS ARMADO CON BLOQUES DE CONCRETO MONTADOS DE FORMA ORDENADA

FIG. 1.14: TIPOS DE ROMPEOLAS

FUENTE: "Ingeniería Portuaria", César Fuentes Ortiz.



### **VENTAJAS**

- Es durable.
- Es flexible, se acomoda si hay asentamiento.
- Se adapta fácilmente a batimetrías irregulares.
- No necesita grandes cantidades de roca.
- Funciona aún cuando es severamente dañado.

### **DESVENTAJAS**

- Necesita de una planta de concreto para las unidades de armadura.
- Necesita grandes cantidades de material.
- Necesita sub-capas (filtro) si se construye sobre arena.
- Inadecuado sobre fondo marino suave.

#### **1.3.1.3 DE TERRAPLÉN CON UNIDADES DE ARMADURA ARTIFICIAL COLOCADAS ORDENADAMENTE**

Es una estructura permanente similar a la anterior, excepto que las unidades son coladas individualmente en un modelo preciso. Se construye usualmente una cresta de rompeolas maciza. Ver **(Fig. 1.14)**.

### **VENTAJAS**

- Durable.
- Flexible, se adapta al asentamiento.
- De todos los tipos de rompeolas de terraplén, usa menos material.
- Se adapta bien a batimetrías irregulares.

### **DESVENTAJAS**

- Las unidades de la armadura deben ser fabricadas.
- Necesita de mano de obra experta en su construcción.
- Difícil de colocar la armadura debajo del agua.
- Inadecuado para fondo marino muy suave.
- Necesita sub-capas si se construye sobre arena.

#### **1.3.1.4 VERTICAL MACIZO CONSTRUIDO IN SITU**

Consiste en una estructura permanente que consiste de grandes elementos agrupados unos con otros en un modelo regular formando una pared vertical maciza. Ver **(Fig. 1.12)**.

### **VENTAJAS**

- Economía de materiales.
- De construcción rápida.
- Ocupa poco espacio.
- Puede funcionar en el lado protegido como muelle.
- El tope o corona es accesible para el equipo de construcción.

### **DESVENTAJAS**

- Necesita que el fondo sea llano.
- Puede ser dañada severamente por la fuerza de impacto de las olas.
- Las olas son reflejadas.
- Puede haber erosión cerca del fondo.
- Es inflexible si ocurre asentamientos.
- Necesita mucho equipo pesado de construcción.
- Es severamente dañado cuando se exceden las condiciones de diseño.

#### **1.3.1.5 DE TOPE MACIZO VERTICAL CON BASE DE TERRAPLÉN DE ROCA**

Es una estructura permanente formada por una base de terraplén de roca que soporta una estructura vertical maciza. **(Fig. 1.15)**.

### **VENTAJAS**

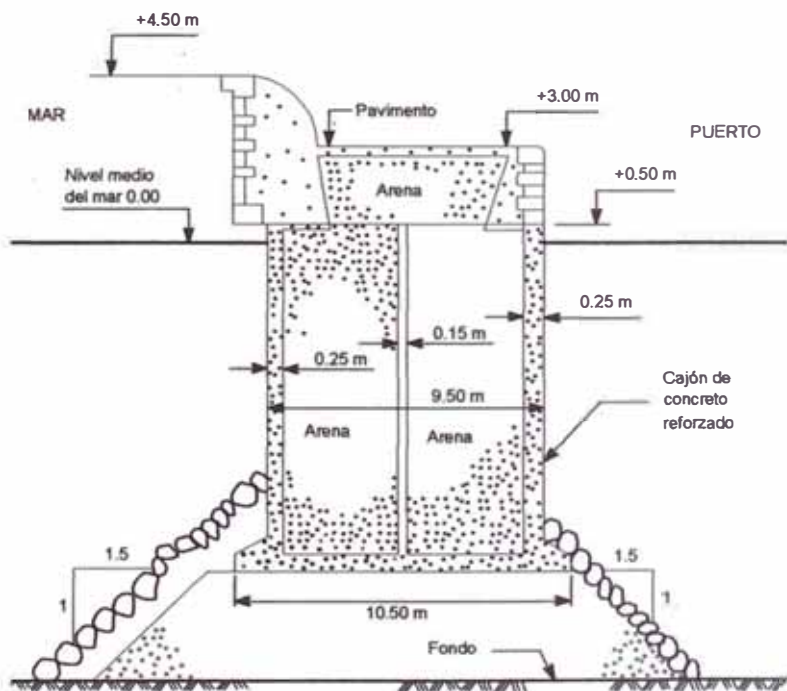
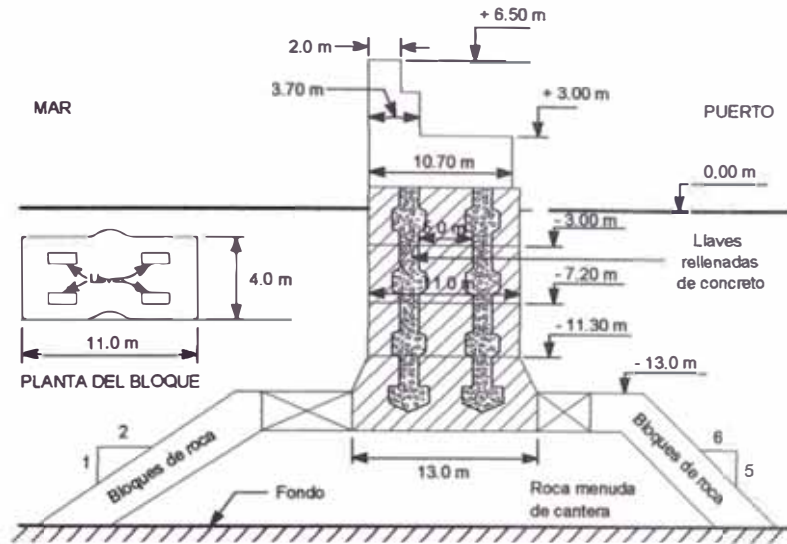
- Moderado uso de material.
- Se adapta bien a suelos dispares.
- Provee una conveniente cubierta de paseo.

### **DESVENTAJAS**

- Puede sufrir fuertes impactos por olas grandes.
- Puede sufrir daños en la base de roca, debido a la reflexión de las olas grandes.
- La base de roca debe construirse cuidadosamente en procura de una buena cimentación para la estructura vertical.
- Se destruye cuando se exceden las condiciones de diseño.

#### **1.3.1.6 FLOTANTE FLEXIBLE**

Es una estructura temporal flotante que absorbe la energía de la ola por fricción y deformación interna del agua. Ver **(Fig. 1.16)**.



**FIG. 1.15:** ROMPEOLAS DE TOPE MACIZO VERTICAL CON BASE DE TERRAPLÉN DE ROCA

FUENTE: "Ingeniería Portuaria", César Fuentes Ortiz.



### **VENTAJAS**

- Relativamente barato.
- De fácil transporte.
- Fácil de fabricar.
- Relativamente es independiente de las condiciones del fondo.

### **DESVENTAJAS**

- Inefectivo contra las olas largas.
- Debe ser anclado.
- Algunos tipos requieren de mucha mano de obra para la fabricación.

#### **1.3.1.7 FLOTANTE RÍGIDO**

Es una solución usualmente temporal que consiste de un gran cuerpo flotante. Este puede ser una embarcación o un pontón. Ver (*Fig. 1.17*).

### **VENTAJAS**

- Fácilmente transportable.
- Requiere poco espacio.
- Puede dar facilidades como muelle temporal.
- Es independiente del fondo excepto por el anclaje.

### **DESVENTAJAS**

- Inefectivo para olas largas.
- Debe ser anclado.
- Pobre rendimiento en algunas frecuencias del oleaje. Pudiéndose generar el fenómeno de resonancia.
- Es dañado si se exceden las condiciones de diseño.

#### **1.3.1.8 DE TERRAPLÉN O VERTICAL SUMERGIDO**

Consiste en una estructura permanente, algunas veces usada para crear un tómbolo artificial, para espigones. Ver (*Fig. 1.17*).

### **VENTAJAS**

- Puede ser diseñado para una reducción de ola determinada.
- Es estético, no visible.
- Reduce el transporte de arena paralelo a la línea costera.

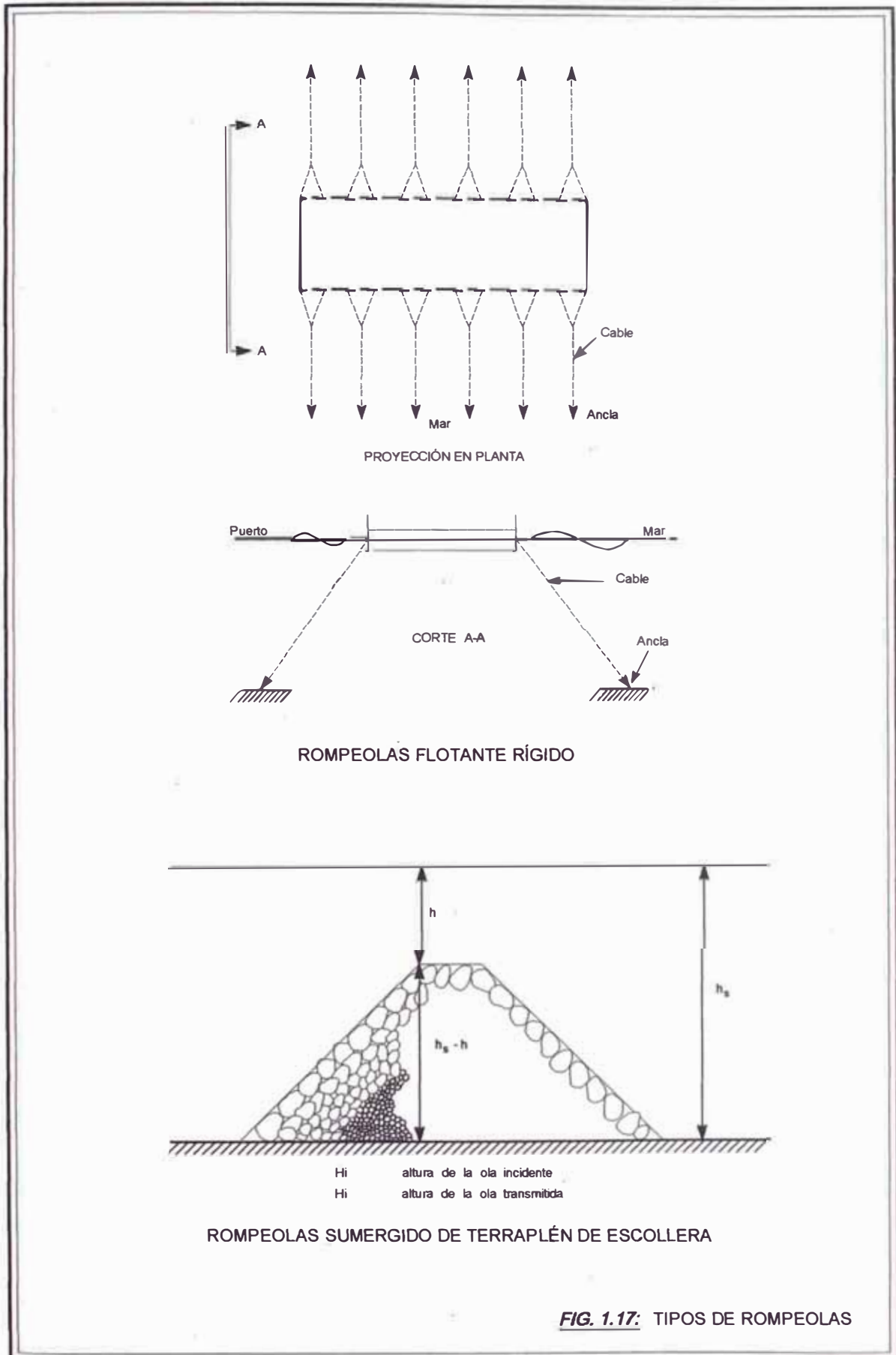


FIG. 1.17: TIPOS DE ROMPEOLAS

FUENTE: "Ingeniería Portuaria", César Fuentes Ortiz.



### **DESVENTAJAS**

- Es peligroso para la navegación.
- Puede existir problemas si el fondo es arenoso.

#### **1.3.1.9 NEUMÁTICO**

Consiste en una descarga de aire por tuberías sumergidas que originan corrientes en el agua que tienden a causar que las olas rompan. Se adopta para usos intermitentes en la protección de áreas pequeñas.

### **VENTAJAS**

- No usa espacio.
- Reduce la densidad de las corrientes.
- Es de fácil construcción.
- No estorba a la navegación.
- Estético, no visible.
- No es dañado por fuertes temporales.

### **DESVENTAJAS**

- Su costo de operación es bastante caro.
- Es poco efectivo, excepto para olas muy cortas.
- Por su uso intermitente, las tuberías pueden obstruirse.

#### **1.3.1.10 PLAYA**

Es permanente, con pendientes de arena o grava que disipan la energía de la ola por rompiente.

### **VENTAJAS**

- Efectivo.
- Usa materiales naturales.
- Muy durable.
- El mantenimiento es muy barato.
- Es estético, tiene valor recreacional.

### **DESVENTAJAS**

- En zonas expuestas es posible la pérdida de arena.
- Necesita mucho espacio. Se requiere pendientes más tendidas que 1:10.

### 1.3.2 CLASIFICACIÓN DE LOS ROMPEOLAS DE ESCOLLERAS SEGÚN SU USO

Según *Fuentes Ortiz* <sup>(12)</sup>, los rompeolas de escolleras, según el uso que se le dé al área de sotavento, se pueden clasificar en: (*Fig. 1.18*)

- **ROMPEOLAS DE ESCOLLERAS CON SOBRE PASO DE OLAS**  
(*Overtopping*)

Si las operaciones dentro de un puerto permiten cierto oleaje, entonces se diseñará un rompeolas que permita un cierto grado de sobre paso de olas, teniendo en cuenta que se deberán tomar ciertas medidas de protección a la armadura de la pendiente posterior.

- **ROMPEOLAS DE ESCOLLERAS SIN SOBRE PASO DE OLAS**  
(*No Overtopping*)

Si las actividades de un puerto no permiten cierto tamaño de ola, se tendrá que diseñar un rompeolas que no permita el sobre paso de olas o que en su defecto sea el mínimo. Este tipo con relación al nivel de agua de diseño, es relativamente más grande que un rompeolas con sobre paso de olas.

### 1.3.3 SISTEMA DE PROTECCIÓN EMPLEADO

El sistema de protección empleado es el tradicional: una escollera de roca o rocaplén, la cual es una estructura permanente, consistente de capas sucesivas de roca. La capa superior que cubre (coraza) está conformada por roca más pesada.

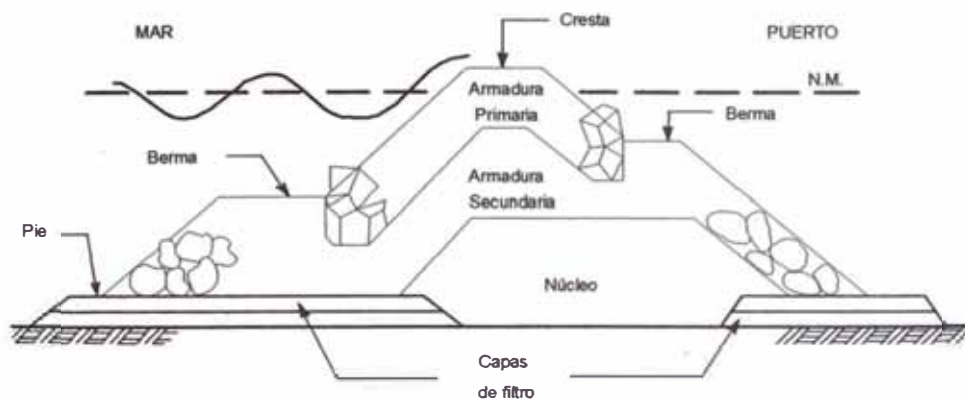
La sección transversal de una Escollera de roca para defensa se muestra en la *Fig. 1.11*.

- **CORAZA (CAPA PRINCIPAL)**

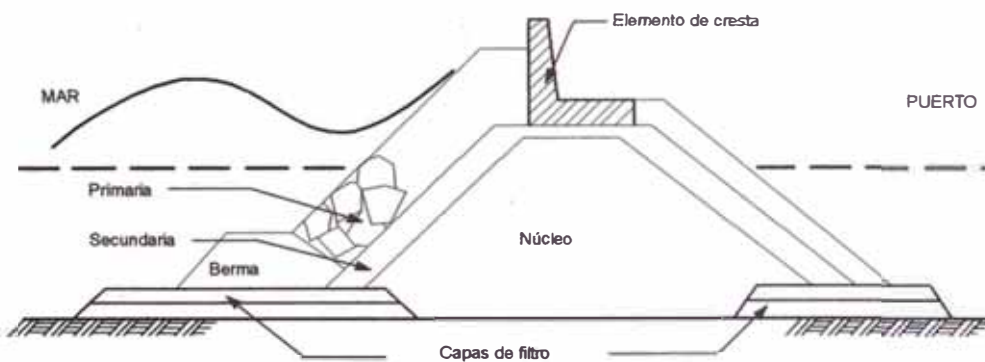
Es la parte exterior de la estructura y está formada por una o dos sub capas de elementos, los cuales deben resistir la acción directa del oleaje.

- **NÚCLEO**

Sirve como soporte y relleno de la estructura y es de tipo masivo. Debe tener la máxima compacidad y el mínimo de vacíos, lo que se logra



ROMPEOLAS CON SOBREPASO DE OLAS



ROMPEOLAS SIN SOBREPASO DE OLAS

**FIG. 1.18:** CLASIFICACIÓN DE LOS ROMPEOLAS DE ESCOLLERAS

FUENTE: "Ingeniería Portuaria", César Fuentes Ortiz.

mezclando rocas de diferentes tamaños, que usualmente son sobrantes de cantera. Es totalmente diferente a la otra capa.

- **DELANTALES O UÑAS**

Protegen a la escollera de la socavación al pie del mismo, en muchas ocasiones se construye utilizando los mismos elementos del núcleo y nunca debe evitarse su participación, ya que es el elemento que da mayor seguridad a la obra.

- **FILTRO O APOYO**

Se utiliza para evitar hundimientos de las rocas debido a las corrientes y el oleaje. También evita que la arena sea succionada y extraída de entre los huecos, lo que propiciará el hundimiento o deslizamiento de algunas zonas de la estructura. El filtro puede evitarse en ocasiones, ya que los delantales deben funcionar como protección que evite la extracción y movimiento de la arena sobre la que se apoya la obra.

### 1.3.4 PARÁMETROS DE DISEÑO DE UN ROMPEOLAS

Para poder realizar diseños de rompeolas de rocaplén llevados a defensa costera o ribereña, es indispensable contar con información sobre las características oceanográficas regionales, así como las características del oleaje local y su forma de incidencia sobre la playa y la estructura rocosa a construir, las cuales dependen de la configuración de la bahía, de la batimetría y del material de la playa; dándose a continuación la relación de parámetros básicos a ser usados:

#### A. PARÁMETROS BÁSICOS HIDRODINÁMICOS

Dentro de la hidrodinámica del oleaje local, tenemos como parámetros básicos hidrodinámicos a la dirección, características, el tipo, la frecuencia, la rompiente, la refracción, y la difracción del oleaje, así como el Run Up o subida de la ola. A continuación definiremos a los más importantes de los parámetros antes mencionados:

- **Características del Oleaje**

Las olas del mar varían en altura, periodo y longitud de forma continua, de manera que las olas nunca son iguales entre sí. Para poder trabajar en

forma analítica con las olas fue necesario definir ciertos parámetros descriptivos que pudieran ser medidos por los observadores (**Fig. 1.4**), las cuales son:

**Altura de Ola (H)**, es la diferencia de altura entre el valle o depresión de una ola y la siguiente cresta, que pasa respectivamente por un mismo sitio.

**Longitud de la Ola (L)**, es la distancia entre dos crestas o dos depresiones sucesivas. Conociendo el periodo de las olas, se puede calcular la longitud para aguas profundas con las fórmulas existentes

$$\left( L_o = 1.56 * T^2 \right), \text{ "L}_o\text{"} \text{ en metros, y "T"} \text{ en segundos}$$

**Periodo de Ola (T)**, es la diferencia de tiempo en el que dos crestas o dos depresiones sucesivas, pasan por un mismo sitio. La unidad de tiempo que se usa para el periodo, es el segundo.

- **Tipos de Oleaje**

Para los fines de Ingeniería de Costas, las olas que más interesan para el diseño de rompeolas en la costa peruana son las denominadas Olas Swell, aunque las Olas Sea se deben tener en cuenta en las zonas donde los vientos locales se presenten.

- **Dirección del Oleaje**

Antes de comenzar a medir las olas se debe recolectar la información existente de la orientación de las olas y luego evaluar y definir la utilidad de ésta. Si no se cuenta con datos de campo, la Sailing Directions For South America (**Fig. 1.3**) proporciona información precisa sobre la dirección del oleaje en aguas profundas, para así poder construir los planos de refracción del oleaje en una zona de interés.

- **Medición de Olas**

La medición de olas más recomendable en nuestro medio se realiza por medio de una boya flotante, de tipo acelerómetro (ológrafo). El acelerómetro colocado dentro de la boya anclada (Wave Rider) registra la aceleración vertical de las olas, la transforma en una señal con frecuencia modulada que transmite mediante un circuito electrónico. El receptor reproduce el oleaje y transforma la señal en movimiento mediante una doble integración,

moviendo una pluma que reproduce las olas en un papel, el cual es movido a una velocidad constante. **(Fig. 1.19)**

- **Frecuencia de Olas**

Para el diseño de obras portuarias y defensas costeras se requiere conocer la probabilidad de ocurrencia de las alturas y periodos de olas. Cuando la función de la obra es la de protección contra el oleaje, como es el caso de los rompeolas de roca, la ola de diseño deberá tener un valor extremo para evitar daños excesivos durante la vida útil de la obra en consideración. La vida útil de estas obras, generalmente se consideran entre 25 y 50 años ya que en la práctica nunca se cuenta con registros en tanto tiempo, es necesario extrapolar la información existente a frecuencias de ocurrencias muy pequeñas.

- **Refracción de Olas**

Es el fenómeno que se manifiesta por el cambio en la dirección de propagación de las olas, que puede ser causado, entre otros por variaciones en la batimetría, por las corrientes marinas o por cualquier fenómeno que haga que una parte de una ola avance más rápida o más lenta que la otra. **(Fig. 1.20).**

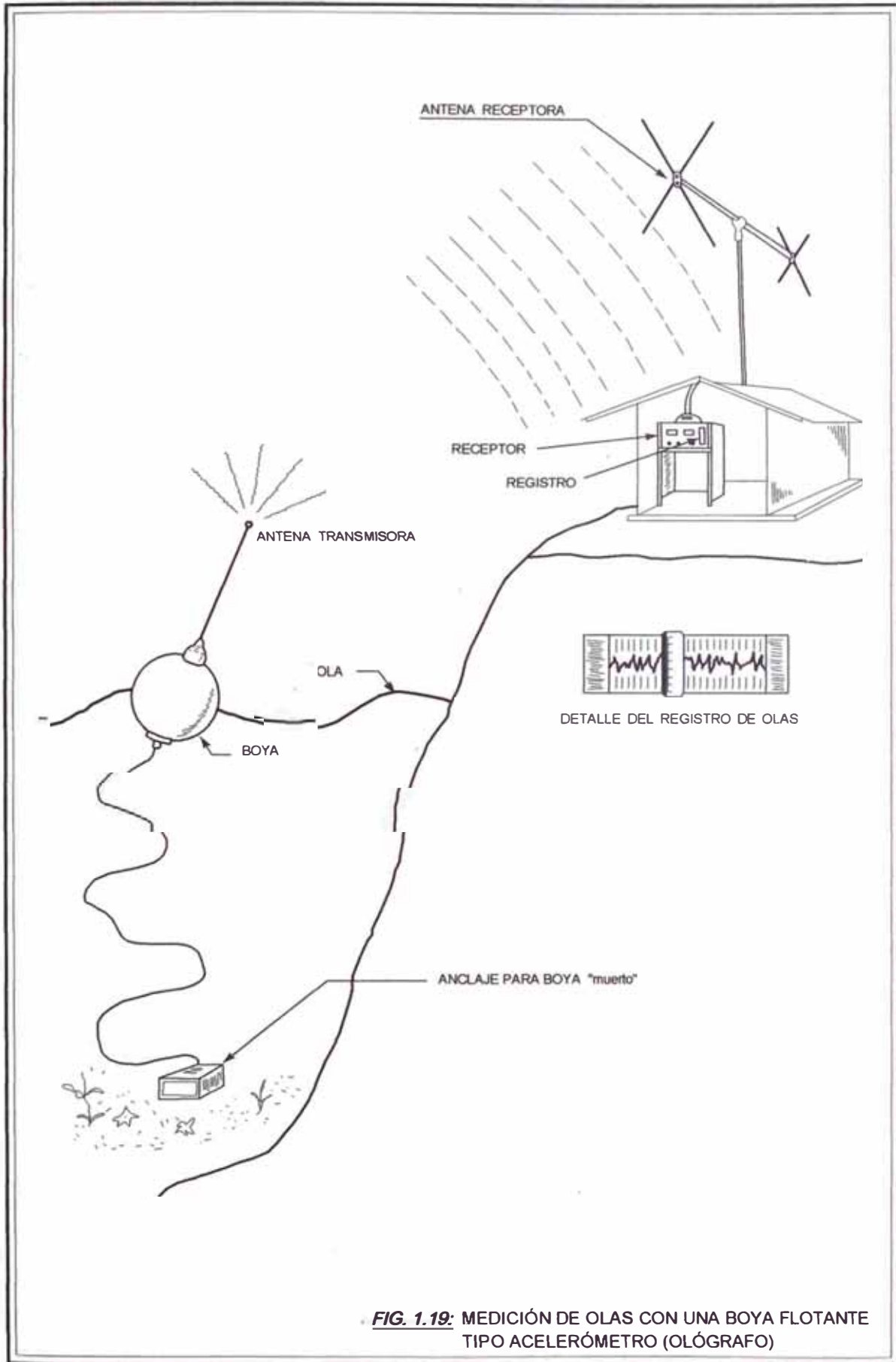
- **Difracción de Olas**

Es un fenómeno típico de ondas. En nuestro caso se manifiesta por la transferencia lateral de energía a lo largo de las líneas de cresta de las olas, cuando se interrumpe el avance del oleaje mediante una barrera, tal como es un rompeolas. Esta transferencia de energía da lugar a la propagación de olas dentro de la zona protegida, delimitada por una línea geométrica de sombra y de rompeolas. **(Fig. 1.21).**

- **Run Up o Subida de Ola**

Es la máxima elevación vertical ( $R_u$ ), medida con respecto al nivel de aguas tranquilas (*N.A.T.*), de la lengua de agua que se alza sobre el talud de una estructura. Este fenómeno de olas, se origina por la transferencia de momentum, cuando éstas inciden sobre la pendiente de una estructura, tal como un rompeolas de rocaplén. La determinación del Run Up es necesaria para calcular una adecuada elevación de la cresta de un rompeolas de



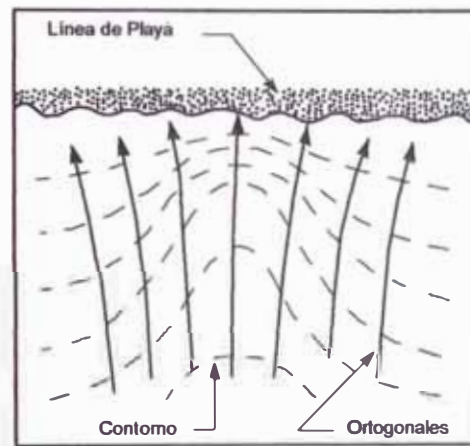
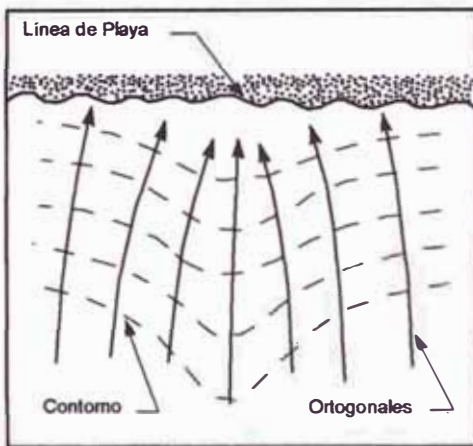


**FIG. 1.19:** MEDICIÓN DE OLAS CON UNA BOYA FLOTANTE TIPO ACELERÓMETRO (OLÓGRAFO)

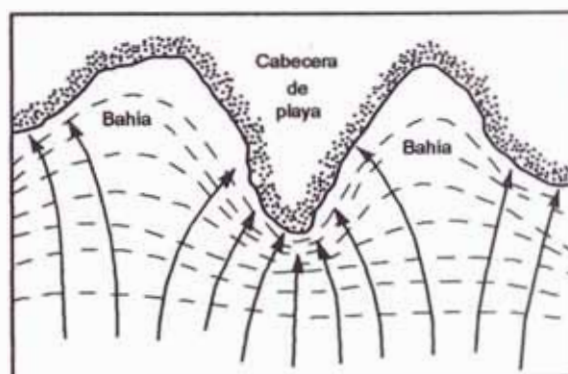
FUENTE: Tesis "Defensa Ribereña y Rehabilitación de la Av. Costa Verde", Luis Alberto Portalino Segundo.



REFRACCIÓN A LO LARGO DE UNA PLAYA RECTA CON CONTORNOS DEL FONDO PARALELOS



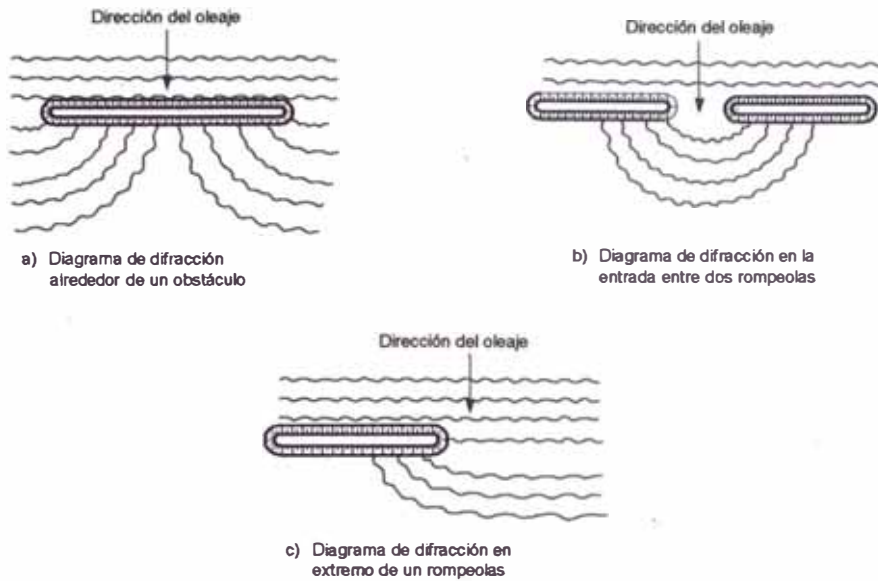
REFRACCIÓN DEBIDA A: a) UNA LOMA SUBMARINA. b) UNA DEPRESIÓN SUBMARINA.



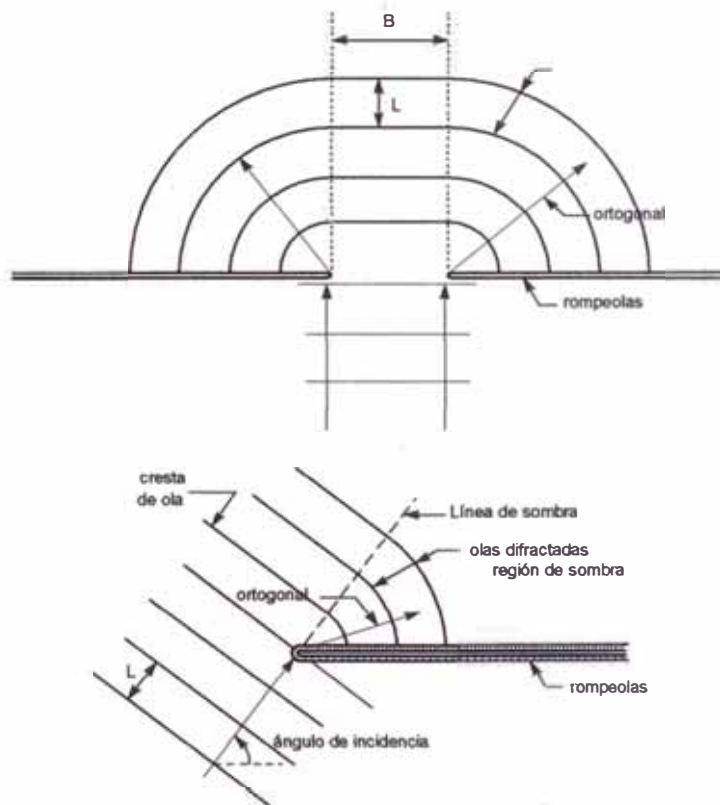
MODELO DE REFRACCIÓN A LO LARGO DE UNA LÍNEA DE COSTA IRREGULAR

**FIG. 1.20:** MODELOS DE REFRACCIÓN DE LAS OLAS

FUENTE: "Ingeniería Portuaria", César Fuentes Ortíz.



DIAGRAMAS DE DIFRACCIÓN DE LAS OLAS



MODELOS DE DIFRACCIÓN DE OLAS EN UN ROMPEOLAS DE LONGITUD SEMI-INFINITA Y EN UNA ENTRADA DE DOS ROMPEOLAS

FIG. 1.21: DIFRACCIÓN DE OLAS

FUENTE: "Ingeniería Portuaria", César Fuentes Ortíz.

rocaplén, si se quiere prevenir el sobrepaso de agua o para evaluar la magnitud de éste. (*Fig. 1.22*).

- **Rompiente del Oleaje**

Es el proceso de disipación de la energía de la ola. Las olas disipan su energía cuando la velocidad de las partículas de la cresta, excede la velocidad de propagación de la ola misma. Este proceso se origina por un fenómeno de frenado, en la parte inferior de la ola, por fricción contra el fondo, esto es al acercarse a la playa; por ende la ola pierde equilibrio y acaba desplomándose, dando lugar el clásico aspecto de rompientes. (*Fig. 1.23*).

## B. OTROS PARÁMETROS BÁSICOS DE DISEÑO

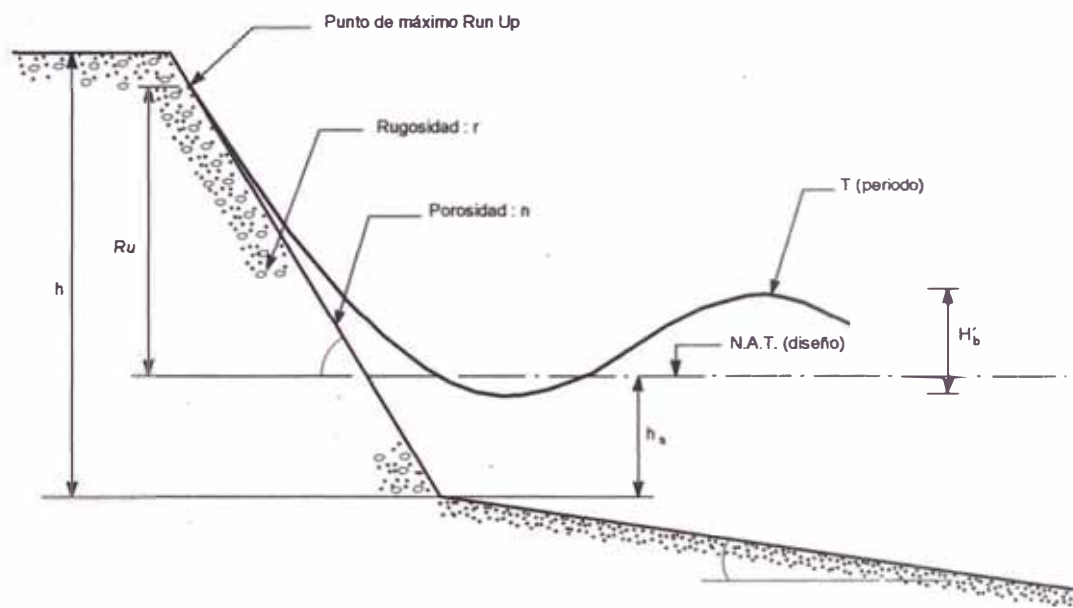
Dentro de estos parámetros debemos considerar los datos siguientes, tales como: Niveles de Marea, Topográficos, Batimétricos, Geotécnicos, Meteorológicos y Transporte de Sedimentos de la zona de estudio, así como las características de los parámetros hidrodinámicos mencionados anteriormente, por ende necesarios para un óptimo diseño de rocaplenes. A continuación detallaremos cada uno de estos parámetros:

- **Niveles de Mareas en la Zona**

Las predicciones de estas mareas son obtenidas de las Tablas de Mareas publicadas por la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú con respecto al Puerto del Callao. Estos datos se basan en los registros de mareas de la estación mareográfica de La Punta - Callao, y que está establecido en el litoral de la costa, indicando altura y hora de los pleamares y bajamares para todos los días del año, y están referidas al Nivel Medio de Bajamares de Sicigias Ordinarias (N.M.B.S.O.).

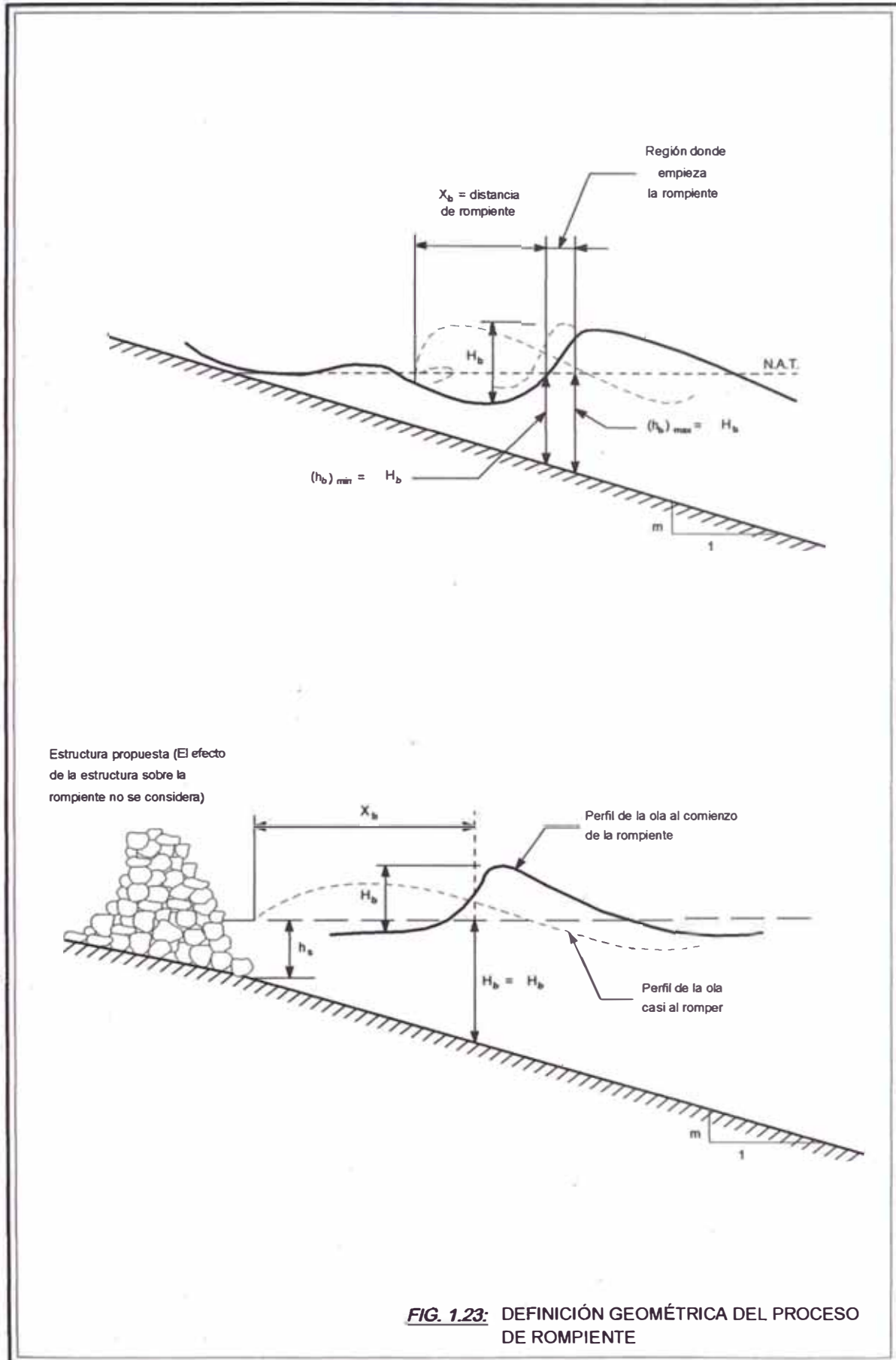
- **Topografía de la Zona**

Sirve no sólo para determinar las características del relieve de la zona de estudio, especificando el grado de dificultad que se pueden presentar durante la ejecución de la obra, sino también para la obtención de los niveles de marea. No siempre las cotas de los levantamientos topográficos están referidas al Nivel Medio de Bajamares de Sicigias Ordinarias (N.M.B.S.O.).



**FIG. 1.22:** GRÁFICA DE DEFINICIÓN DEL RUN UP

FUENTE: Tesis "Defensa del Malecón Pardo La Punta - Callao", Enrique Anselm Cells Paucar.



FUENTE: Tesis "Defensa del Malecón Pardo La Punta - Callao", Enrique Anselm Celis Paucar.



- **Batimetría de la Zona**

Los datos batimétricos se realizan en la zona mediante el sondaje, ya sea en la forma de un cable con lastre o por ecosonda, a bordo de una embarcación. Por lo tanto las mediciones están referidas al Nivel Medio de Bajamares de Sicigias Ordinarias (N.M.B.S.O.).

- **Características Geotécnicas**

Determina las características físicas y mecánicas del suelo que componen el lecho marino, en el área donde estará ubicado el rompeolas de rocaplén, y de esta forma conocer su capacidad portante, cohesión, consolidación y la distribución del tamaño del grano, necesarios para un diseño seguro. Estos estudios antes mencionados son sumamente importantes para prevenir fallas en los filtros y deslizamientos en la base, especialmente cuando se trate con suelos arenosos, o en proceso de formación.

- **Meteorología de la Zona**

El estudio de vientos es importante, tanto en la generación de las olas Sea o Swell como que también sirve para el pronóstico del oleaje en caso de que no se cuente con registros de olas.

- **Materiales de Construcción**

La roca es el material principal en la construcción de rocaplenes ya que este empieza en las canteras, por lo tanto se tendrá que analizar su disponibilidad, la factibilidad económica, la densidad, la solidez y la capacidad de fragmentación.

## 1.4 ESTUDIO DE ROCAS

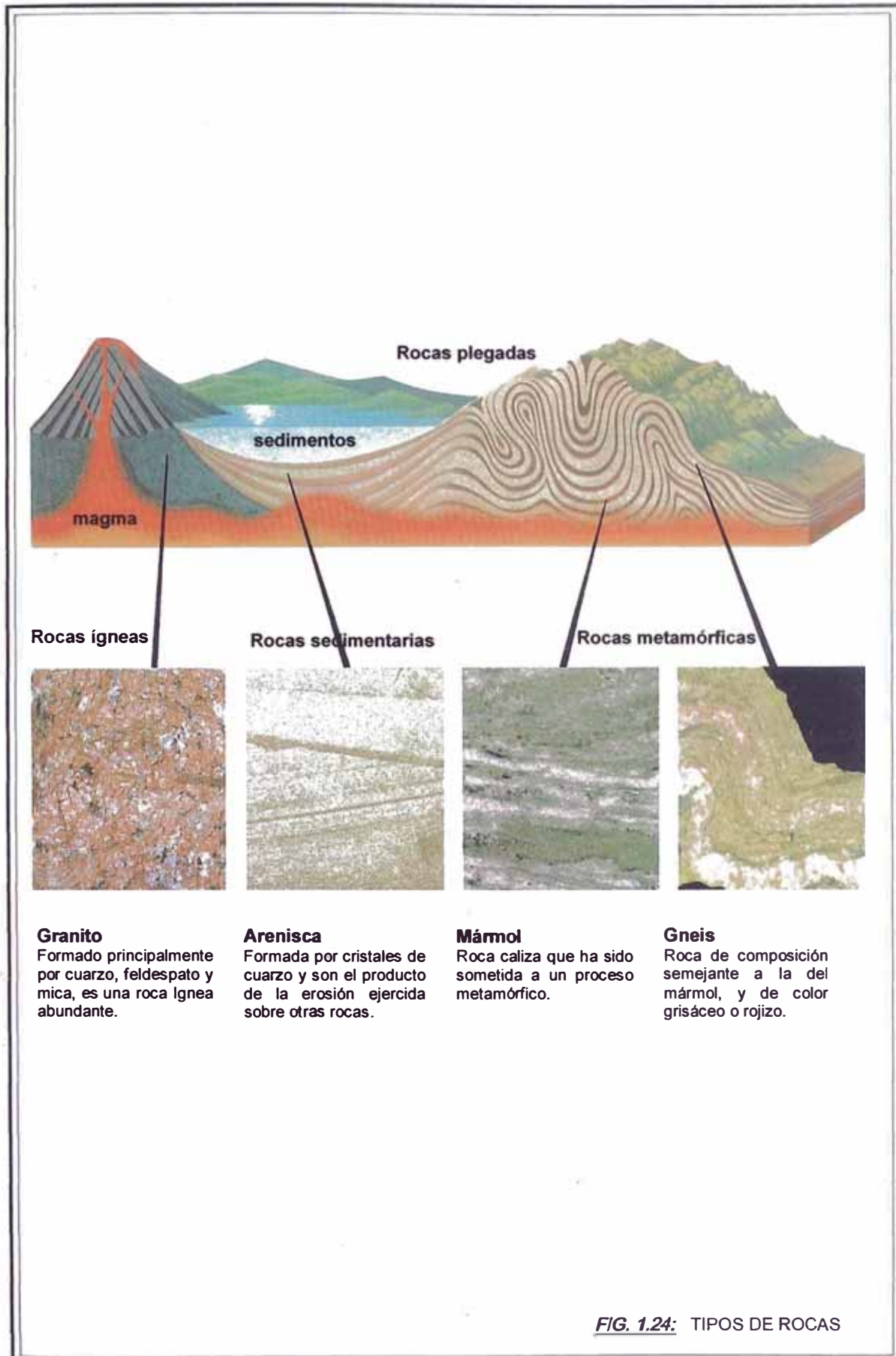
En un sentido amplio, las rocas son agregados de minerales. Para el ingeniero, el término roca significa firme y coherente.

### 1.4.1 TIPOS Y CARACTERÍSTICAS

Con relación a su origen las rocas se agrupan en 3 grandes tipos: en ígneas, sedimentarias y metamórficas (**Fig. 1.24**), como el cual detallaremos a continuación:

- **ROCAS ÍGNEAS:**

A las rocas ígneas comúnmente se les llaman rocas primarias. Son rocas que se han solidificado de una masa fundida llamada magma, dentro de la



**FIG. 1.24:** TIPOS DE ROCAS

FUENTE: "Biblioteca de Consulta 2005", Microsoft Encarta.

tierra (rocas intrusivas), o de lava cuando han sido expulsadas sobre la superficie de la tierra (rocas extrusivas). Entre las rocas ígneas más comunes tenemos al basalto, granito, diorita, y la andesita; las cuales presentan características como: mayor durabilidad y tenacidad bajo el efecto del desgaste, son mas pesadas debido a que tiene un peso específico de 2.5 a 3.0, porosidad baja menor al 1%, y por último son fuertes y densas, dado que se obtienen resistencias a la compresión de 1,055 a 2,110 kg/cm<sup>2</sup> o más.

- **ROCAS SEDIMENTARIAS:**

Las rocas sedimentarias, también conocidas como rocas estratificadas, son de origen secundario. Están formadas por masas en forma de capas de sedimento que han endurecido por cementación, compactación o recristalización incipiente. Entre las rocas sedimentarias más conocidas, tenemos a la arenisca, caliza, etc.; las cuales presentan las características típicas como: son moderadamente durables y tenaces cuando se someten a fuerzas de desgaste, son ligeras debido a que tienen pesos específicos por debajo de los otros tipos de rocas, su porosidad varía del 1 al 15%, y por último tiene una dureza y resistencia intermedias, con valores a la compresión de 175 a 1,055 kg/cm<sup>2</sup>.

- **ROCAS METAMÓRFICAS:**

Las rocas metamórficas son las que se forman de rocas ígneas o sedimentarias pre-existentes, como resultado de un ajuste forzoso de estas rocas, a medios diferentes de aquellos en que originalmente se formaron. Este ajuste puede consistir en la formación, dentro de la roca, de nuevas estructuras, texturas, o minerales, o de todos ellos. Entre las rocas metamórficas más importantes tenemos a la cuarcita, mármol, etc.; las cuales presentan las siguientes características como: mayor durabilidad, pero se exfolian con facilidad, son regularmente tenaces dado que se fracturan cuando se desgastan, son pesadas debido a que tienen un peso específico promedio de 2.3 a 2.8, porosidad baja menor al 1%, y por último son densas y fuertes ya que tienen resistencias a la compresión de 1,055 a 1,760 lb/pulg<sup>2</sup>.

Por consiguiente, el tipo de roca que mejor resulta y presenta mínima variación, excluyendo los efectos de la fracturación, con respecto a sus propiedades físicas como son el peso, porosidad, resistencia y dureza, etc, han sido las rocas ígneas, entre ellas se encuentran la diorita, andesita y la granodiorita; las cuales tienen bastante significación en el campo de la ingeniería portuaria. Por ende este tipo de roca debe ser utilizado en la construcción de rocaplenes, previos ensayos que se le tendrá que realizar a la roca según sea la exigencia que demanda la envergadura de la obra.

#### 1.4.2 NORMAS Y ENSAYOS

Los ensayos de laboratorio que definen la calidad de la roca, son:

- **ENSAYO DE ABRASIÓN (ASTM – C131)**

Se realiza en la máquina de Los Angeles, se determina el porcentaje de desgaste de la muestra representativa de la roca en estudio. No deberá ser mayor al 25%.

- **ENSAYO DE DURABILIDAD (ASTM – C88)**

Se utiliza el sulfato de sodio, para determinar las características de inalterabilidad de las rocas. Los resultados deben estar por debajo del 12%.

- **PESO UNITARIO (ASTM – D854)**

Es necesario este resultado para ver su calidad (peso por unidad de volumen) y no debe ser menor a  $2,600 \text{ Kg/m}^3$  para ser utilizado en escolleras.

#### 1.4.3 EXPLOTACIÓN DE CANTERAS

Como es bien conocido el objetivo de las operaciones de perforación y voladura es la fragmentación del macizo rocoso que actúa como medio por acción de la energía producida por la detonación de una mezcla explosiva cualquiera.

Es por lo dicho anteriormente, que los resultados de los disparos primarios tienen que ser evaluados en términos de un alto porcentaje del grado de fragmentación requerido, ya que esto permitirá, elevar la producción, productividad, cumplir con la demanda requerida y minimizar el costo.

## **VARIABLES QUE INFLUYEN EN LOS RESULTADOS DE UN DISPARO**

Muchos técnicos opinan que son tres las variables aleatorias que ejercen una influencia en los resultados de un disparo y son:

- **EL MACIZO ROCOSO**

La mayoría de los técnicos están de acuerdo que para encontrar el nivel de energía requerido para obtener una buena fragmentación y para seleccionar a las mezclas explosivas que al detonar produzcan el nivel de energía antes mencionado y que fracture eficientemente el macizo rocoso, es necesario definir y medir física y geológicamente las propiedades de éste.

Se ha demostrado que las siguientes propiedades físico-mecánicas de las rocas influyen su reacción ante la energía producida por la detonación de una mezcla explosiva cualquiera, estas son:

- Densidad.
- Esfuerzo compresivo.
- Esfuerzo tensional.
- Módulo de Young.
- Relación de Poisson.
- Velocidad longitudinal de onda.

Además las propiedades del macizo rocoso son variables críticas y afectan directamente el diseño y los resultados de un disparo. Estas propiedades son:

- Resistencia dinámica de las rocas.
- Propiedades elásticas de las rocas.
- Litología.
- Diaclasamiento y contactos.
- Espaciamiento y orientación de las discontinuidades, etc.

- **EL EXPLOSIVO**

Es importante tener conocimiento de la energía producida por la detonación de una mezcla explosiva cualquiera. Usando análisis computacionales, se puede calcular los parámetros de la detonación y explosión de cualquier

mezcla explosiva, especialmente de los llamados de nueva generación, entre los cuales tenemos:

- AL/AN/FO.
- SAN/FO.
- Emulsiones.
- AN/FO<sub>5</sub> pesados, etc.

- **LA GEOMETRÍA DEL DISPARO**

En primer lugar se debe mencionar que hasta la fecha no existe una ecuación o serie de ecuaciones que puedan ser aplicada directamente para diseñar el disparo óptimo. Es determinante la experiencia de los técnicos para un disparo acertado.

Lo dicho anteriormente se debe a que en el diseño de un disparo intervienen muchos parámetros y variables muy complejos y estocásticos y son el producto de la gran variedad y naturaleza del macizo rocoso, la geología local y estructural, y la gran variedad de mezclas explosivas existentes en el mercado.

En los últimos años la industria de los explosivos ha dirigido su mayor esfuerzo de investigación hacia las emulsiones explosivas en razón a sus notables características de resistencia al agua, alta densidad, elevada velocidad de detonación por el cual es recomendable en voladuras superficiales.

## CAPÍTULO II: INFORMACIÓN BÁSICA

### 2.1 CARACTERÍSTICAS OCEANOGRÁFICAS

#### 2.1.1 MAREAS

Tanto el Levantamiento Topográfico como el Batimétrico están referidos a un nivel de referencia, que es el (N.M.B.S.O) Nivel Medio de Bajamares de Sicigias Ordinarias, para su obtención en el área de Estudio se ha llevado controles de mareas durante el tiempo que duraron los trabajos de campo y se compararon con los pronósticos que se dan en la Tabla de Mareas del 2003, editada por la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina. **(Ver Fig. 2.1)**

Las mareas que se presentan en la zona de Estudio son predominantes de tipo semi diurno, (02) pleamares y (02) bajamares en 24 horas. La amplitud media de la marea es de 0.56 m la amplitud de promedio de sicigias es de 0.74 m y la mayor amplitud máxima promedio más los 0.50 m que se estima por el Fenómeno del Niño alcanzando en época de sicigias 1.30 m.

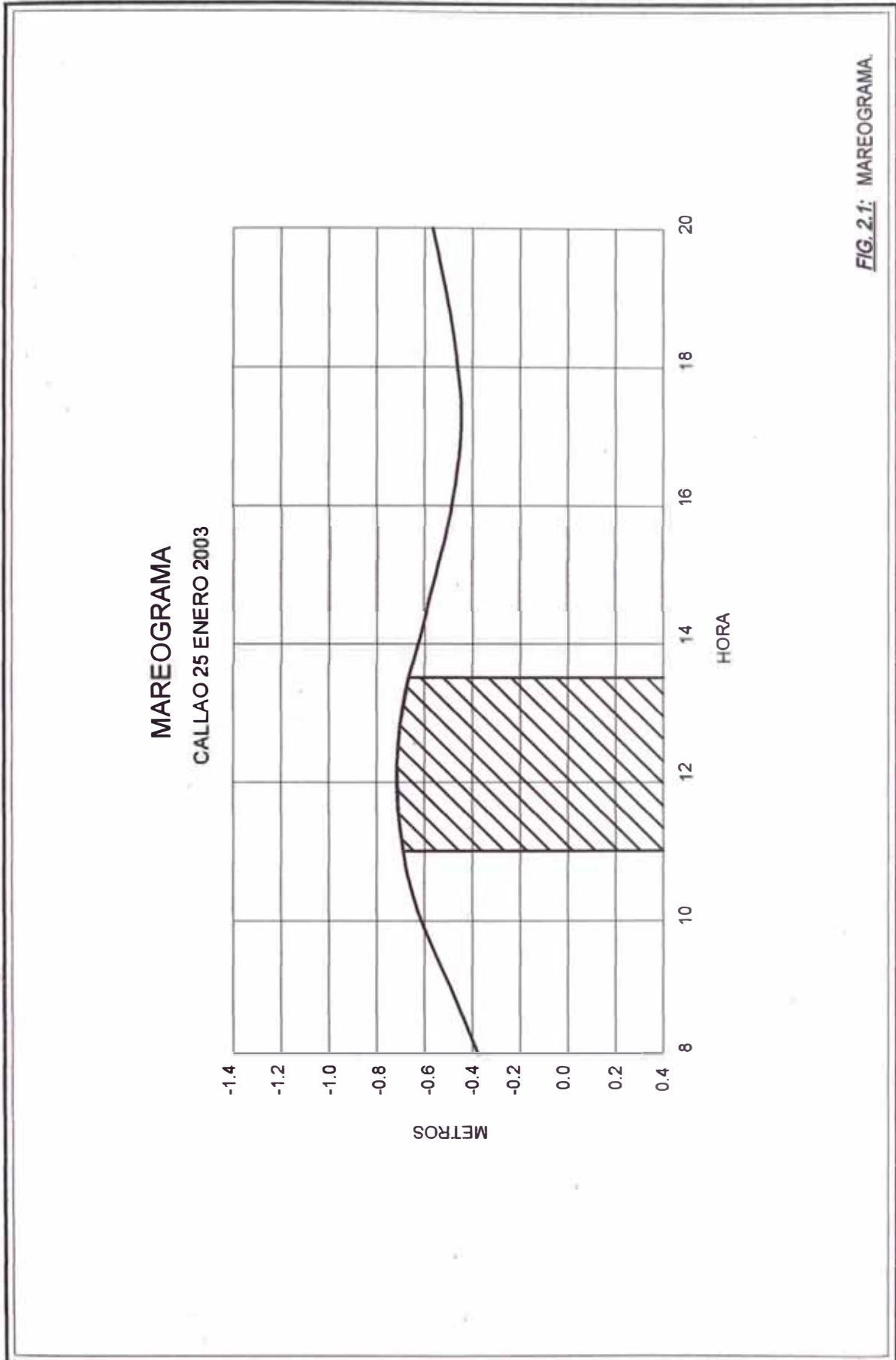
El control de la variación del nivel de las mareas permite:

- a) Determinar el nivel de referencia, así como otros niveles necesarios para el diseño de obras portuarias
- b) Reducir las Mediciones Topográficas al nivel de referencia.
- c) Conocer la variación del nivel del mar en la zona de la Defensa Ribereña y Embarcadero Municipal de la Zona Costera de la playa Cantolao (Malecón Figueredo).
- d) La programación de las mediciones de corrientes con el fin de determinar las corrientes de marea ascendente y descendente.
- e) Determinar la línea de baja y alta marea.

#### 2.1.2 CORRIENTES

Según *Ciport S.A.* <sup>(6)</sup>, el sistema de corrientes frente a las costas del Perú, tiene dirección Norte y difiere del sistema de orilla, donde se presenta una variabilidad debido principalmente al perfil de los accidentes costeros, especialmente dentro de una bahía, el sistema de corrientes responde también a otros factores como las mareas, la batimetría, los vientos locales, las olas, etc. Esto hace que





**FIG. 2.1: MAREOGRAMA.**

las corrientes cercanas a la costa sean muy variables y difíciles de describir. Para poder analizar correctamente las corrientes en un área de interés, es necesario identificar los tipos de corrientes y las causas de generación de cada una de ellas. En general, se puede definir a las corrientes como el desplazamiento de una masa de agua por dos características: dirección y velocidad.

#### A. Medición de Corrientes

Para los estudios de corrientes se emplean diversos equipos, basados en dos métodos de medición. Las mediciones de corrientes en la zona de estudio se efectuaron utilizando el método Euleriano, que consiste en la medición del flujo de la corriente desde un punto fijo. La posición de las estaciones se realizó utilizando el método de alineación de dos obstáculos en tierra y la profundidad del lugar, una vez ubicados en el área, se tomó la posición utilizando un GPS marca Magellan 310. Para las mediciones de corrientes se utilizó un correntómetro Valeport, para medir la corriente superficial y de fondo. **(Ver Tablas 2.1, 2.2 y Foto N° 11 del Anexo 4)**

El trabajo de campo se realizó los días 11 y 25 de Enero del 2003 a bordo de una embarcación con motor fuera de borda. Durante el planeamiento se determinaron cuatro estaciones de muestreo, utilizando las cartas batimétricas del área a las escalas 1/50,000 y 1/15,000 elaboradas por la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina. La información de las profundidades de las estaciones fue determinada por una sondaleza, teniendo en cuenta las cartas batimétricas mencionadas anteriormente.

Las estaciones de muestreo y sus posiciones se muestran a continuación:

<i>Estación: 1</i>	<i>Latitud:</i>	<i>12° 04.00' S</i>
	<i>Longitud:</i>	<i>77° 09.65' W</i>
<i>Estación: 2</i>	<i>Latitud:</i>	<i>12° 03.96' S</i>
	<i>Longitud:</i>	<i>77° 09.60' W</i>
<i>Estación: 3</i>	<i>Latitud:</i>	<i>12° 04.01' S</i>
	<i>Longitud:</i>	<i>77° 09.57' W</i>
<i>Estación: 4</i>	<i>Latitud:</i>	<i>12° 04.03' S</i>
	<i>Longitud:</i>	<i>77° 09.62' W</i>

Tabla 2.1

**Mediciones de Corrientes en La Punta - Callao**

File header created by DATALOG on 29/01/2003 21:43:07

Device: BFM105, Serial number: 18104

Header text: Mediciones a 1 m. desde la superficie y a 1 m. desde el fondo en 3.4 m. de agua.

Sampling period (secs): 10, Averaging period: 6

File name FILE36

Site information : La Punta - Callao

Impeller coefficients: 3 +1.0340000e-01 +3.7000000e-02 +6.0000000e-01 +1.1360000e-01  
+3.0899999e-02 +1.4000000e+01 +1.1560000e-01 +2.8000000e-03 +1.0000000e+02

Fecha	Hora	Velocidad (m/s)	Direccion ° sex	Niveles
25/01/2003	11:04:02	0.118	164.1	1 m. desde la superficie en 3.4 m. de agua
25/01/2003	11:05:02	0.040	124.7	
25/01/2003	11:06:02	0.056	118.7	
25/01/2003	11:07:02	0.035	277.1	
25/01/2003	11:08:02	0.115	142.6	
25/01/2003	11:09:02	0.046	222.4	
25/01/2003	11:10:02	0.054	211.5	
25/01/2003	11:11:02	0.095	149.9	
25/01/2003	11:12:02	0.078	132.7	
25/01/2003	11:13:02	0.065	197.6	
25/01/2003	11:14:02	0.099	113.8	
25/01/2003	11:15:02	0.064	179.6	
25/01/2003	11:16:02	0.037	206.1	
25/01/2003	11:17:02	0.082	122.9	
25/01/2003	11:18:02	0.051	182.0	
25/01/2003	11:19:02	0.072	154.8	
25/01/2003	11:20:02	0.090	116.1	
25/01/2003	11:21:02	0.033	128.6	
25/01/2003	11:22:02	0.003	33.6	
25/01/2003	11:23:02	0.027	237.9	
25/01/2003	11:24:02	0.135	124.1	
25/01/2003	11:25:02	0.096	100.7	
25/01/2003	11:26:02	0.087	232.5	
25/01/2003	11:27:02	0.051	144.8	
25/01/2003	11:28:02	0.058	265.4	
25/01/2003	11:29:02	0.011	304.5	
25/01/2003	11:30:02	0.045	108.0	
25/01/2003	11:31:02	0.093	122.9	
25/01/2003	11:32:02	0.032	200.6	
25/01/2003	11:33:02	0.046	216.9	
25/01/2003	11:34:02	0.062	82.8	
25/01/2003	11:35:02	0.056	255.7	
25/01/2003	11:36:02	0.035	265.5	
25/01/2003	11:37:02	0.048	146.3	
25/01/2003	11:38:02	0.040	72.2	
25/01/2003	11:39:02	0.083	248.3	
25/01/2003	11:40:02	0.064	137.3	
25/01/2003	11:41:02	0.111	270.5	
25/01/2003	11:42:02	0.039	58.6	

Fuente: Estudio Hidro Oceanográfico Malecón Figueredo - La Punta, Ciport S.A.

Tabla 2.1

**Mediciones de Corrientes en La Punta - Callao**

File header created by DATALOG on 29/01/2003 21:43:09

Device: BFM105, Serial number: 18104

Header text: Mediciones a 1 m. desde la superficie y a 1 m. desde el fondo en 4 m. de agua.

Sampling period (secs): 10, Averaging period: 6

File name FILE37

Site information : La Punta - Callao

Impeller coefficients: 3 +1.0340000e-01 +3.7000000e-02 +6.0000000e-01 +1.1360000e-01  
+3.0899999e-02 +1.4000000e+01 +1.1560000e-01 +2.8000000e-03 +1.0000000e+02

Fecha	Hora	Velocidad (m.s)	Direccion ° sex	Niveles
25/01/2003	11:49:47	0.067	86.2	1 m. desde la superficie
25/01/2003	11:50:47	0.030	3.7	
25/01/2003	11:51:47	0.055	83.3	
25/01/2003	11:52:47	0.044	353.5	
25/01/2003	11:53:47	0.119	137.4	
25/01/2003	11:54:47	0.065	358.2	
25/01/2003	11:55:47	0.016	2.3	
25/01/2003	11:56:47	0.050	120.3	
25/01/2003	11:57:47	0.066	127.9	
25/01/2003	11:58:47	0.069	135.7	
25/01/2003	11:59:47	0.048	102.6	
25/01/2003	12:00:47	0.059	152.4	
25/01/2003	12:01:47	0.055	125.1	
25/01/2003	12:02:47	0.031	150.5	
25/01/2003	12:03:47	0.061	110.2	
25/01/2003	12:04:47	0.063	255.8	
25/01/2003	12:05:47	0.057	1.2	
25/01/2003	12:06:47	0.052	94.8	
25/01/2003	12:07:47	0.037	323.0	
25/01/2003	12:08:47	0.023	98.7	
25/01/2003	12:09:47	0.103	215.3	
25/01/2003	12:10:47	0.027	102.9	
25/01/2003	12:11:47	0.021	143.3	1 m. desde el fondo
25/01/2003	12:12:47	0.054	110.6	
25/01/2003	12:13:47	0.093	357.2	
25/01/2003	12:14:47	0.088	120.4	
25/01/2003	12:15:47	0.008	53.5	
25/01/2003	12:16:47	0.040	282.2	
25/01/2003	12:17:47	0.096	93.4	
25/01/2003	12:18:47	0.040	162.0	
25/01/2003	12:19:47	0.032	51.3	
25/01/2003	12:20:47	0.093	73.2	
25/01/2003	12:21:47	0.046	56.3	
25/01/2003	12:22:47	0.034	150.0	
25/01/2003	12:23:47	0.030	75.1	
25/01/2003	12:24:47	0.028	358.7	
25/01/2003	12:25:47	0.073	130.0	
25/01/2003	12:26:47	0.017	5.4	
25/01/2003	12:27:47	0.072	216.4	
25/01/2003	12:28:47	0.073	172.2	

Fuente: Estudio Hidro Oceanográfico Malecón Figueredo - La Punta, Ciport S.A.



**Tabla 2.2**  
**Mediciones de Corrientes en La Punta - Callao**

File header created by DATALOG on 29/01/2003 21:43:16  
 Device: BFM105, Serial number: 18104  
 Header text: Mediciones a 1 m. desde la superficie en 2.3 m. de agua  
 Sampling period (secs): 10, Averaging period: 6  
 Site information : La Punta - Callao  
 Impeller coefficients: 3 +1.0340000e-01 +3.7000000e-02 +6.0000000e-01  
 +1.1360000e-01 +3.0899999e-02 +1.4000000e+01 +1.1560000e-01  
 +2.8000000e-03 +1.0000000e+02

Fecha	Hora	Velocidad (m.s)	Direccion ° sex
25/01/2003	12:36:32	0.058	129.7
25/01/2003	12:37:32	0.020	144.6
25/01/2003	12:38:32	0.029	221.9
25/01/2003	12:39:32	0.119	152.3
25/01/2003	12:40:32	0.066	174.2
25/01/2003	12:41:32	0.065	258.2
25/01/2003	12:42:32	0.055	13.3
25/01/2003	12:43:32	0.058	85.3
25/01/2003	12:44:32	0.025	276.1
25/01/2003	12:45:32	0.050	48.8
25/01/2003	12:46:32	0.068	349.6
25/01/2003	12:47:32	0.060	313.1
25/01/2003	12:48:32	0.036	38.8
25/01/2003	12:49:32	0.052	221.4
25/01/2003	12:50:32	0.079	307.4
25/01/2003	12:51:32	0.059	90.1
25/01/2003	12:52:32	0.046	326.5
25/01/2003	12:53:32	0.070	19.1
25/01/2003	12:54:32	0.067	105.5
25/01/2003	13:01:13	0.096	116.0
25/01/2003	13:02:13	0.097	196.6
25/01/2003	13:03:13	0.050	88.1
25/01/2003	13:04:13	0.038	116.9
25/01/2003	13:05:13	0.060	85.4
25/01/2003	13:06:13	0.071	158.0
25/01/2003	13:07:13	0.025	26.5
25/01/2003	13:08:13	0.050	122.0
25/01/2003	13:09:13	0.080	278.3
25/01/2003	13:10:13	0.063	47.3
25/01/2003	13:11:13	0.050	102.9
25/01/2003	13:12:13	0.040	9.8
25/01/2003	13:13:13	0.082	295.6
25/01/2003	13:14:13	0.097	54.1
25/01/2003	13:15:13	0.105	141.9
25/01/2003	13:16:13	0.042	111.3
25/01/2003	13:17:13	0.025	181.4
25/01/2003	13:18:13	0.027	198.9
25/01/2003	13:19:13	0.045	243.9
25/01/2003	13:20:13	0.087	85.1

Fuente: Estudio Hidro Oceanográfico Malecón Figueredo  
La Punta, Ciport S.A.

## B. Resultados

**Corrientes Superficiales:** Durante las mediciones efectuadas el día 25 de Enero del 2003, se puede apreciar una dirección prevaleciente del Sureste, en las estaciones N° 1 y 2, es decir las más alejadas de costa, con variaciones hacia el Este, es decir hacia costa, y hacia el Sur y Suroeste; en general nos muestra una tendencia que a medida que avanza, con dirección general hacia el Sur, va ingresando hacia costa. En las estaciones más cercanas a costa (Estaciones N° 3 y 4), la dirección es también predominantemente hacia el Sureste, aunque se presenta mayor variabilidad, producto de los procesos que ocurren cerca de costa, influenciados por la morfología del litoral, del fondo y del oleaje.

Las velocidades superficiales durante el día 25 de Enero del 2003, fluctuaron entre 11.9 y 1.6 cm/seg, con una velocidad promedio de 6.07 cm/seg.

**Corrientes de Fondo:** Las corrientes cerca del fondo durante el día 25 de Enero del 2003, muestran direcciones similares a las superficiales. En todas las estaciones la dirección predominante es también hacia el Sureste, con tendencia de ir hacia la costa, desviándose cerca de 45° con respecto a la dirección perpendicular a playa.

Las velocidades de fondo del día 25 de Enero del 2003, muestran valores ligeramente inferiores a las superficiales, fluctuando entre 13.5 y 0.3 cm/seg, con una velocidad promedio de 5.54 cm/seg.

**Discusión:** De acuerdo a las mediciones efectuadas en la zona de estudio, la circulación nos muestra velocidades relativamente bajas, de poca intensidad, situación de esperar por la protección natural que tiene la zona como consecuencia de las islas San Lorenzo y el Frontón, así como, la península de La Punta, contra la dinámica de mar abierto. Esta situación, prevé que la mayor dinámica, y por lo tanto, que pueda originar algún tipo de cambio en la morfología de costa, principalmente por procesos de sedimentación o erosión, no son las corrientes marinas propiamente dichas, si no la corriente litoral, en este caso muy pegada a costa, generada por el oleaje.

### 2.1.3 OLEAJE

Según *Ciport S.A.* <sup>(9)</sup>, para la ocupación de un área acuática y la construcción de obras portuarias, es importante contar con información sobre las olas del mar, en particular, es necesario conocer la naturaleza y frecuencia de ocurrencia de las olas definidas por su período, altura y dirección.

Otro aspecto importante en las mediciones de olas, es el proceso a que está sujeto el oleaje al acercarse a las playas, por efecto del fondo marino que produce la refracción y difracción en la dirección del frente de olas, modificando las características del oleaje provenientes de aguas profundas.

Como la magnitud del oleaje en el litoral, depende de la altura de las olas en aguas profundas y de la zona de rompiente, es necesario conocer las áreas de incidencia de oleajes en el ámbito del estudio, específicamente en la playa Cantolao de La Punta donde se ubicará la Defensa Ribereña y el Embarcadero Municipal. **(Ver Foto N° 8 del Anexo 4).**

En vista que el cálculo de los datos de olas se efectúa mediante técnicas estadísticas, no es necesario registrar datos de olas en forma continua durante las 24 horas del día. Por lo general, se asume que las características estadísticas de las olas del mar son constantes durante un número de horas.

Dentro de este lapso, se toma una muestra que sostenga el suficiente número de olas para que los parámetros característicos ( $H_S$  y  $T_S$ ) sean estables y representativos para ese lapso. En otras palabras, se debe calcular  $H_S$  y  $T_S$  de un grupo de olas lo suficientemente grande para que elimine las irregularidades que se presenta en un tiempo determinado. Además, se debe tomar un suficiente número de muestras del oleaje al día, para determinar la variación de los parámetros a largo plazo. Este es el caso de los datos tomados por el ológrafo instalado en el área de Ventanilla, los cuales serán utilizados para evaluar las características de las olas en la zona de interés.

#### A. Frecuencia de las mediciones

Por lo general, la ola significativa varía en altura continuamente durante todo el año, esta variación es pequeña, pero durante una braveza puede ocurrir una variación grande muy repentinamente. Las bravezadas son períodos de ocurrencia de olas de tipo "Swell", que en nuestra costa ocurren normalmente por 4 ó 6 días continuos y que afectan gran parte del litoral. La frecuencia de las mediciones que se registran en cada lugar depende de las condiciones



locales. Por lo general, es necesario medir olas por lo menos una vez al día; sin embargo, debido a que los vientos costeros son variables durante el día, es conveniente hacer mediciones más frecuentes. Para efectuar diseños y evaluación de obras portuarias es indispensable contar con información sobre las olas del mar, por lo cual es necesario conocer su naturaleza y frecuencia de ocurrencia de las olas, definidas por su período, altura y dirección.

Otro aspecto importante en las mediciones de olas en la costa es la modificación de su dirección, altura y velocidad a que está sujeto el oleaje al acercarse a las playas, por efecto de la disminución de la profundidad del fondo marino y por la presencia de obstáculos (islas, rompeolas, etc.) que produce la refracción en la dirección del frente de olas.

#### **B. Duración de las mediciones**

Para obtener información de diseño confiable, el tiempo mínimo de mediciones de olas requeridas en cualquier lugar es un año, siendo un ciclo anual completo. En el área de estudio se han obtenido datos de mediciones de olas durante el tiempo que duraron los trabajos de campo, así como, se usará la estadística anual de mediciones efectuada en Ventanilla.

#### **C. Antecedentes**

Existen estudios y compilaciones de datos en general para la región costera central que abarca el área donde se ubica la Defensa Ribereña y Embarcadero Municipal y que nos permite describir el comportamiento del oleaje en esa zona. El Ministerio de Pesquería realizó mediciones de olas en Ventanilla por un período de un año, con la finalidad de conocer el comportamiento del oleaje y determinar los coeficientes de refracción y de poca profundidad del oleaje. Los resultados de estos registros son importantes debido a que las mediciones se realizaron en un área relativamente cercana a la zona de estudio, de manera que se puede caracterizar el efecto de espectro de olas incidentes en el área de interés y deducir la transformación de este espectro al llegar a la zona de estudio.

#### **D. Dirección de olas**

Específicamente en el área de estudio, de acuerdo a una estadística de dirección de olas de 6,907 observaciones, en la costa central del Perú,

(información del Sailing Directions for South America) se ha determinado que el 62.9% de las olas provienen del Sur, y un 17.4 y 15.0% del Suroeste y Sureste respectivamente. Sin embargo, a medida que se acercan a costa, por efectos del fondo y/o obstáculos, como por ejemplo puntas e islas, el oleaje se reorienta o cambia de dirección, produciéndose los fenómenos de refracción y difracción respectivamente.

## E. Distribución de alturas y dirección del oleaje

### E1. Olas en aguas profundas

La información del Sailing Directions está basada en observaciones visuales de barcos mercantes o de oportunidad. (**Ver Plano 04**). Los datos sobre la ocurrencia de las olas en porcentajes de tiempo por direcciones son bastantes exactos, en cuanto a las alturas de las olas, son datos que tienen validez para zonas de aguas profundas y áreas muy extensas.

**DISTRIBUCIÓN DE OLAS SWELL  
(10° a 15°)**

O (%)	SO (%)	S (%)	SE (%)	E (%)
1.0	17.4	62.9	15.0	0.7

### E2. Olas en aguas poco profundas

Se ha efectuado mediciones para la determinación de la distribución de alturas de olas en el área de interés. Estas mediciones de alturas y periodos de olas son bastante exactas, dada la precisión con que puede registrar el ológrafo.

Sin embargo, el ológrafo no registra la dirección del oleaje, que es un dato importante para elaborar los diagramas de refracción, que permiten calcular la altura de las olas en las zonas de poca profundidad.

Por esta razón, son importantes los datos de dirección del oleaje del Sailing Directions, en base a los cuales se ha determinado la dirección predominante del frente de olas a la costa. En tal sentido, para el presente estudio se han utilizado las direcciones del Suroeste y Oeste. (**Ver Plano 03**)

### E3. Cálculo de Alturas de Olas

Para obtener estos valores es necesario analizar el oleaje que llegará a esta zona. Para tal análisis se dispone del gráfico de distribución del oleaje medido

a -15 metros en el Puerto de Salaverry durante 4 años.

Este oleaje se llevará de la zona de medición hasta aguas profundas, como se sabe el oleaje en aguas profundas es el mismo en toda la costa peruana debido a que tienen la misma fuente de generación.

Con la distribución de olas disponibles en aguas profundas frente a la zona del proyecto, y con los diagramas de refracción y difracción, se ha llevado el oleaje de aguas profundas en la zona del proyecto. Con este oleaje se define las consideraciones de diseño del proyecto.

El método consiste en utilizar las alturas de olas en aguas profunda y multiplicarlas con los coeficientes de propagación en aguas someras, refracción y difracción, de acuerdo en que parte se requiera conocer la distribución del oleaje.

Según *Fuentes Ortiz* <sup>(12)</sup>, la altura de una ola en aguas poco profundas está dada por la siguiente fórmula:

$$H = K_r * K_s * K_d * H_o$$

Donde:  $K_r$  = Coeficiente de Refracción

$K_s$  = Coeficiente por Cambio de Profundidad

$K_d$  = Coeficiente de Difracción

$H_o$  = Altura de ola en Aguas Profundas

#### 2.1.4 METEOROLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA

Según *Ciport S.A.* <sup>(5)</sup>, las condiciones climatológicas en el área de interés, están influenciadas por la dinámica del Anticiclón del Pacífico Sur Oriental y estacionalmente durante el verano por la dinámica del Anticiclón del Atlántico que en su posición Occidental, ocasiona el transvase de humedad hacia el lado del Pacífico. El área de estudio por su posición geográfica, se encuentra además influenciada por la presencia de la corriente fría del Perú, que actúa como mecanismo termorregulador; por la Cordillera de los Andes cuyo efecto orográfico regula la persistencia de la dirección de los vientos alisios y por consiguiente del afloramiento costero y el régimen climático de la costa peruana. **(Ver Fig. 2.2, 2.3 y 2.4)**

El valor promedio mensual multianual de la temperatura del aire varía entre 16.5° y 22.0°C, presentando su valor mínimo medio en el mes de Agosto (16.5°C) y su

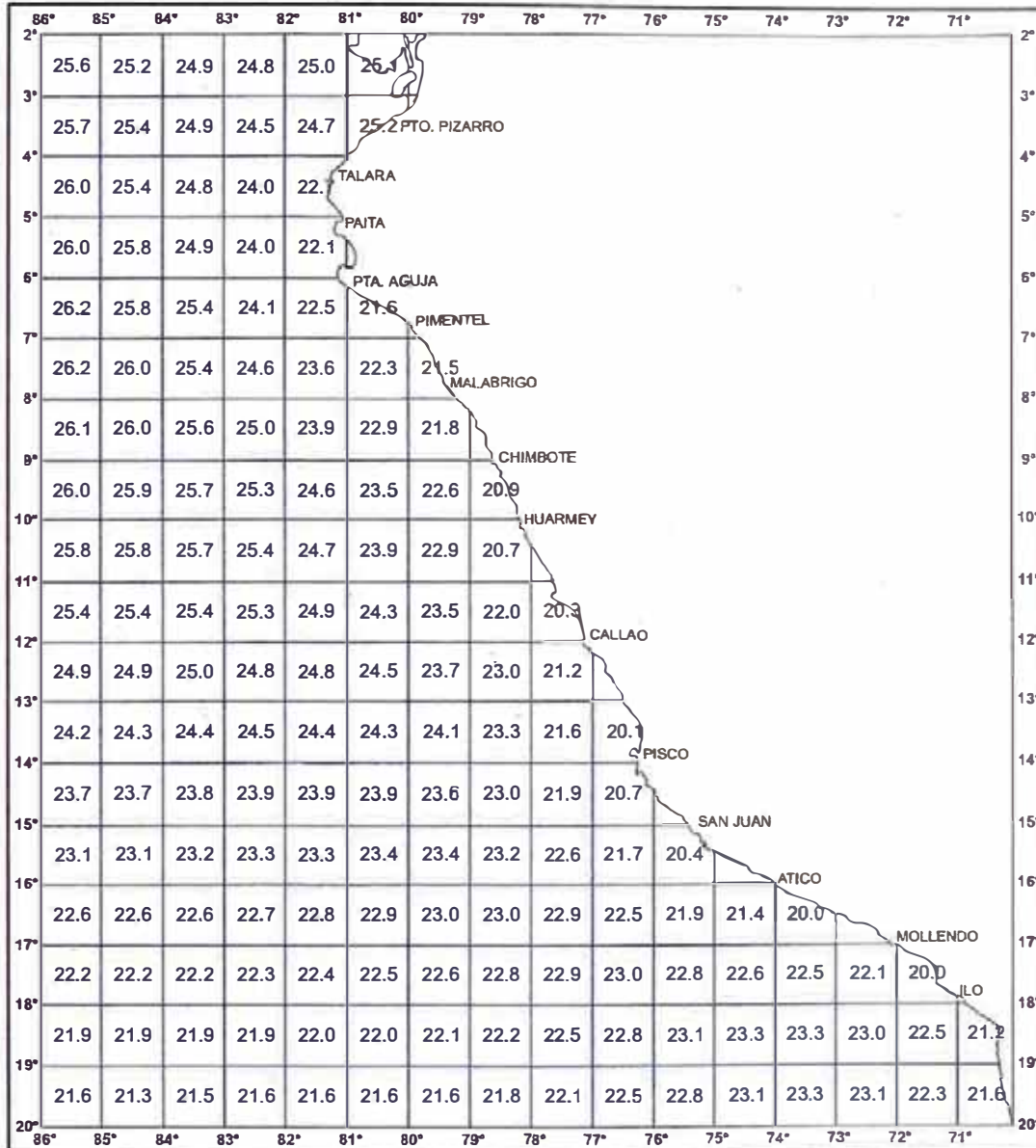
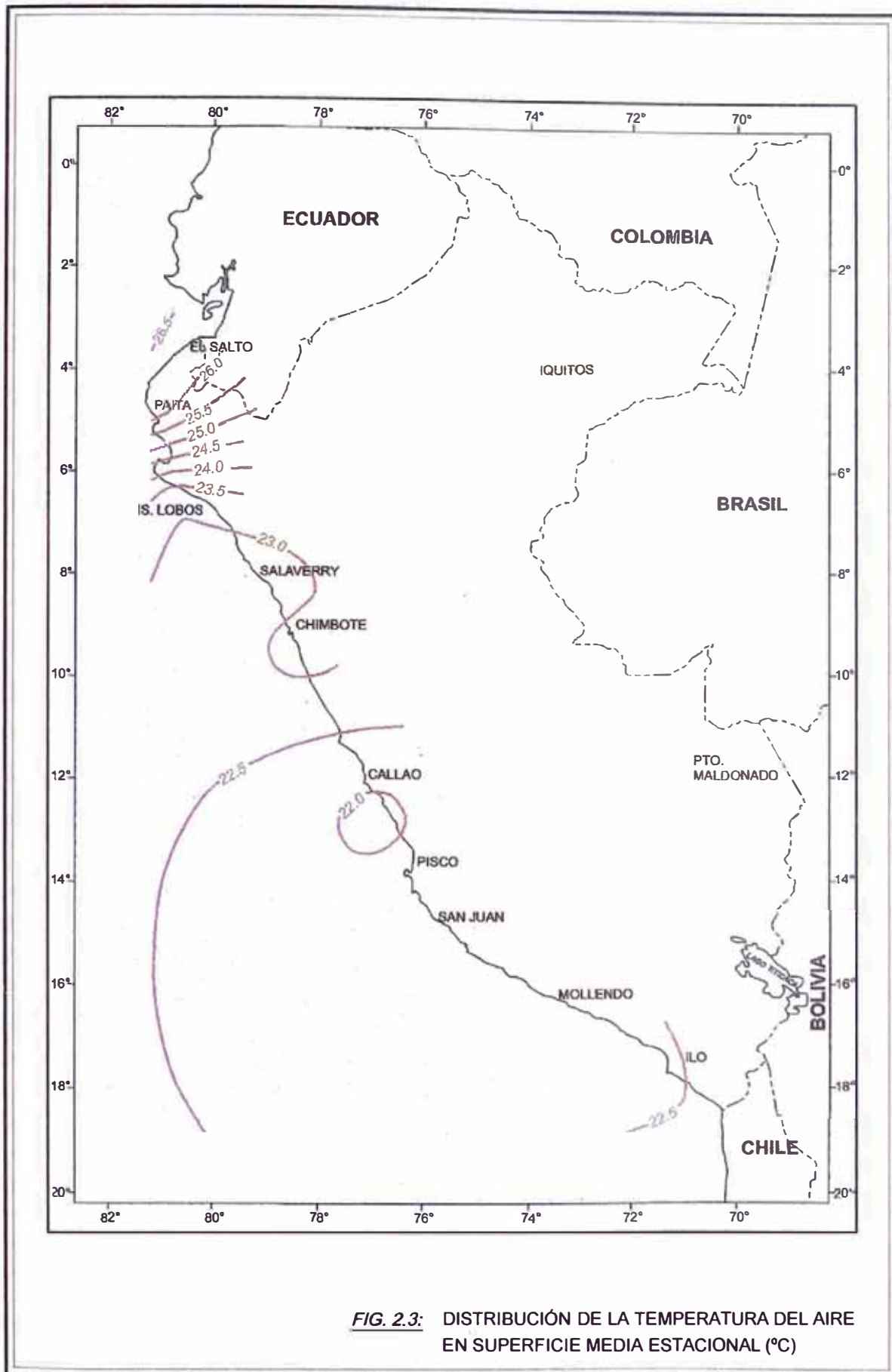


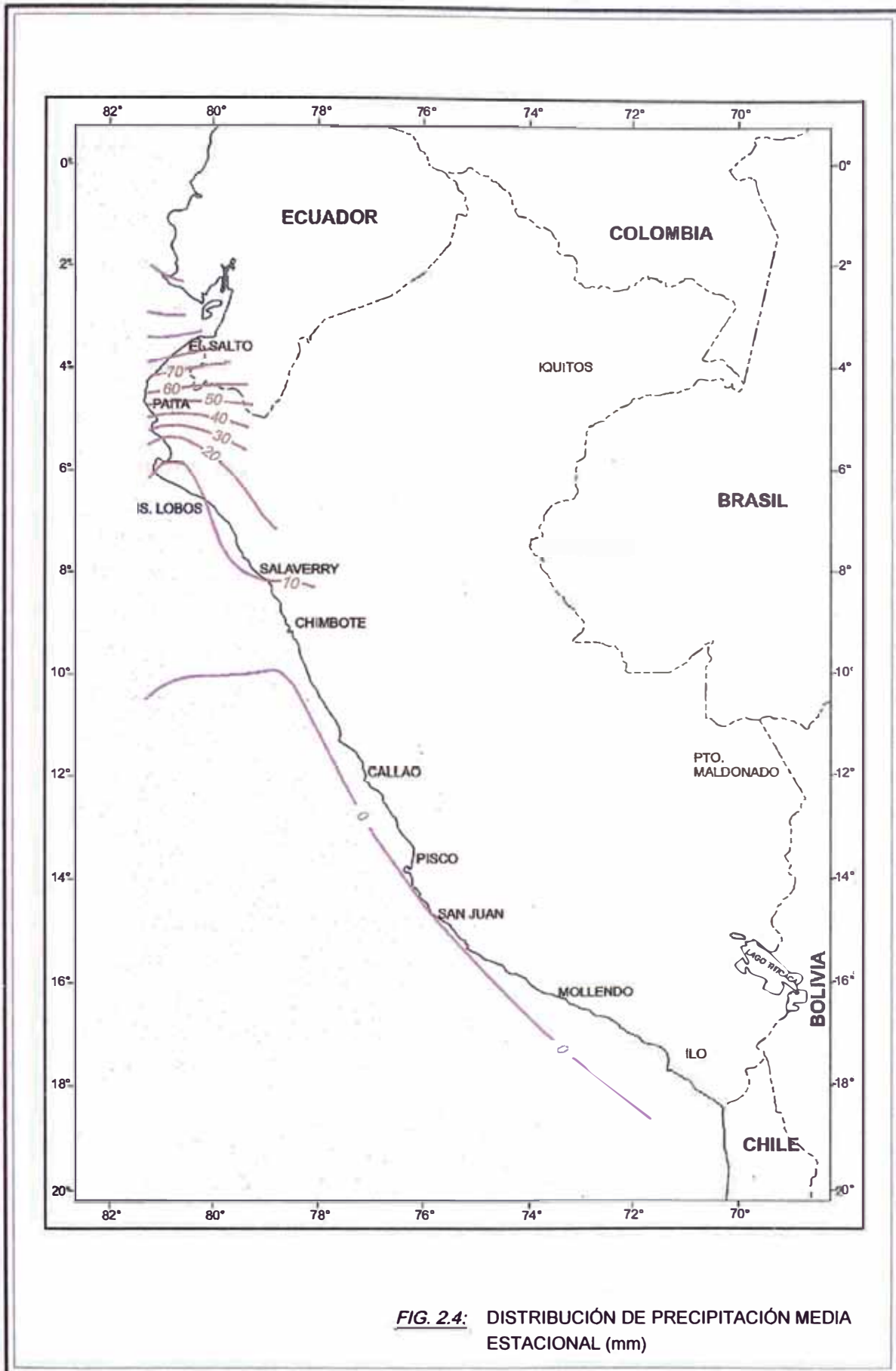
FIG. 2.2: DISTRIBUCIÓN DE LA TEMPERATURA DE AGUA DE MAR EN LA SUPERFICIE

FUENTE: "Derrotero de la Costa del Perú", Volumen II, Dirección de Hidrografía y Navegación. nta - Callao.



**FIG. 2.3:** DISTRIBUCIÓN DE LA TEMPERATURA DEL AIRE EN SUPERFICIE MEDIA ESTACIONAL (°C)

FUENTE: "Derrotero de la Costa del Perú", Volumen II, Dirección de Hidrografía y Navegación. nta - Callao.



FUENTE: "Derrotero de la Costa del Perú", Volumen II, Dirección de Hidrografía y Navegación. nta - Callao.



máximo en el mes de Febrero (22.0°C); la temperatura superficial del mar varía entre 14.9°C y 17.5°C, asimismo la humedad relativa media se mantiene entre 87 a 90 %. **(Ver Tabla 2.3, 2.4 y 2.5).**

El tipo de nubosidad es estratiforme. Durante el invierno, cubierto en las mañanas por estratos y estratocúmulos, y variando gradualmente a nublado al medio día. En el verano se presentan coberturas nubosas de nublado a nublado parcial por estratocúmulos, y frecuentemente durante las tardes invasión de nubosidad cirrostratos y altostratos.

En el área de interés son poco frecuentes las precipitaciones, registrándose solamente trazas aisladas tipo llovizna en invierno y tipo de lluvia ligera durante el verano, proveniente de nubosidades estratos y altostratos respectivamente, variando la precipitación entre 0 a 0.6 mm. **(Ver Tabla 2.6).**

Sin embargo, es frecuente la presencia de nieblas ligeras que reducen la visibilidad horizontal a menos de 9 km. durante gran parte del año, especialmente durante las madrugadas y primeras horas de la mañana. Durante la época de verano, son frecuentes las nieblas radiactivas en las primeras horas de la mañana, siendo en algunos casos moderadas a densas, reduciendo la visibilidad a menos de 1000 m. Durante la época de invierno, la frecuencia de nieblas es debido principalmente a la advección de aire húmedo desde el océano, producto de la intensificación del Anticiclón del Pacífico Sur Oriental y el enfriamiento superficial del mar en áreas costeras.

Cuando ocurre el fenómeno de El Niño, las temperaturas del aire aumentan entre 2° a 4°C, el viento aumenta entre 20 a 50% del promedio mensual, especialmente durante las tardes y se presentan precipitaciones ligeras de mayor intensidad y cobertura espacial.

### **INVERSIÓN TÉRMICA**

Durante el Invierno (Mayo - Octubre), se presenta una inversión térmica bastante intensa en la Costa peruana, bajo la cual se ubica una capa de nubes estratiformes, debido a la presencia del Anticiclón del Pacífico Sur, con tendencia a originar inversiones por subsidencia.

La altura de la base de la inversión térmica se encuentra en verano con mayor frecuencia entre los 200 y 400 msnm y entre 800 y 1000 msnm en el invierno. La intensidad varía entre 1° y 4°C en verano, mientras que en invierno es de 4° a 10°C; el espesor de la inversión térmica es alrededor de 300 a 400 m. Las



**TABLA 2.3**  
**TEMPERATURA DEL AIRE MEDIA MENSUAL MULTIANUAL (°C)**  
**Año 2003**

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
El Salto	26.0	26.6	26.7	26.5	25.9	24.6	23.3	22.5	22.7	23.3	24.0	25.1
Paíta	25.7	26.8	26.5	26.0	24.4	21.9	21.0	20.3	20.5	21.0	21.8	23.5
Is. Lobos de Afuera	22.3	23.5	23.2	21.7	20.5	19.5	18.4	17.7	17.7	18.1	19.2	20.6
Salaverry	21.9	22.8	22.7	21.8	20.1	19.0	18.4	17.9	17.6	18.2	19.1	20.6
Chimbote	22.7	23.7	23.2	22.1	20.9	19.6	18.8	18.4	18.6	19.0	20.1	21.4
Callao	21.3	22.0	21.8	20.3	18.7	17.7	16.9	16.5	16.6	17.5	18.7	20.2
Pisco	22.1	22.8	22.7	21.1	19.7	18.0	17.2	16.7	17.2	18.3	19.1	21.1
San Juan	23.7	24.2	24.0	22.6	20.7	18.4	17.2	16.9	17.5	18.8	20.3	22.1
Mollendo	22.2	22.7	22.2	21.0	19.5	17.6	16.2	15.7	16.2	17.5	19.3	21.0
Ilo	23.3	23.6	23.1	21.6	19.6	17.9	16.8	16.5	17.0	18.4	20.0	21.7

\* Fuente: Demotero de la Costa del Perú, Volumen II, Dirección de Hidrografía y Navegación.

TABLA 2.4

TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR  
 MEDIA MENSUAL MULTIANUAL (°C)  
 Año 2003

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
El Salto	27.7	28.1	28.4	28.1	27.5	26.2	25.2	24.8	25.0	25.4	26.0	27.0
Paíta	20.5	23.2	22.8	20.1	18.6	17.7	17.2	16.6	16.5	17.2	17.7	18.6
Is. Lobos de Afuera	20.4	21.9	21.6	20.3	19.8	18.9	18.0	17.2	17.3	17.3	18.1	19.3
Salaverry	16.8	18.1	18.4	17.6	16.8	16.7	16.5	16.1	15.8	15.7	15.8	16.2
Chimbote	21.8	23.2	22.1	21.0	20.3	18.9	18.2	18.1	18.5	18.8	19.7	20.9
Callao	16.2	17.2	17.7	17.5	16.9	16.6	16.0	15.6	15.0	14.9	15.1	15.6
Pisco	22.9	23.2	23.4	22.1	20.8	19.1	18.2	18.2	19.1	19.9	19.8	21.9
San Juan	16.0	16.6	16.6	15.7	15.2	14.7	14.3	14.0	14.0	14.2	14.4	14.9
Mollendo	16.9	16.7	17.6	16.9	16.2	15.6	15.0	14.7	14.7	14.9	15.9	16.3
Ilo	17.3	17.3	17.3	17.0	16.3	15.7	15.1	14.9	15.0	15.1	15.6	16.5

\* Fuente: Derrotero de la Costa del Perú, Volumen II, Dirección de Hidrografía y Navegación.

TABLA 2.5

HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL MULTIANUAL (%)  
Año 2003

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
El Salto	81	82	82	82	83	83	84	84	85	83	81	82
Paita	70	68	68	67	70	70	74	76	76	77	74	72
Is. Lobos de Afuera	88	88	89	90	89	89	89	89	89	89	89	89
Salaverry	85	84	86	85	85	85	85	85	85	86	85	85
Chimbote	80	79	81	84	84	84	85	85	86	85	83	81
Callao	90	89	89	90	90	89	88	87	87	88	88	88
Pisco	83	82	82	84	84	84	84	83	84	84	83	83
San Juan	75	74	73	75	75	78	79	80	79	81	78	75
Mollendo	79	78	80	81	81	81	81	82	82	83	80	80
Ilo	74	73	74	76	76	78	78	79	80	80	76	75

\* Fuente: Derrotero de la Costa del Perú, Volumen II, Dirección de Hidrografía y Navegación.

**TABLA 2.6**  
**PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL MULTIANUAL (mm)**  
**Año 2003**

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
El Salto	19.0	86.9	149.7	131.5	39.4	30.0	4.5	1.6	3.4	4.1	3.7	7.9
Paita	75.5	44.7	79.4	102.1	27.3	13.7	0.6	7.9	0.1	2.2	4.3	11.9
Is. Lobos de Afuera	3.4	1.2	7.4	19.6	5.4	1.3	0.3	1.4	1.9	4.2	0.3	0.4
Salaverry	0.2	0.4	0.9	0.2	0.2	0.0	0.3	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1
Chimbote	2.0	1.2	0.7	1.0	0.0	0.0	0.3	0.1	0.2	0.4	0.5	0.0
Callao	0.6	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
Pisco	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
San Juan	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
Mollendo	7.0	1.7	1.3	0.5	0.2	0.2	0.2	1.1	0.8	0.0	0.1	0.0
Ilo	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2

\* Fuente: Derrotero de la Costa del Perú, Volumen II, Dirección de Hidrografía y Navegación.

isotermas muestran un paralelismo con la línea costera, decreciendo las temperaturas a medida que se acercan a la línea de costa, por el efecto termorregulador.

En relación a las horas de sol, los menores valores se registran hacia la zona de mar, incrementándose hacia el continente. Los menores valores se deben a la presencia de un mayor porcentaje de nubosidad estratiforme en la zona costera.

## 2.2 BATIMETRÍA DE LA ZONA

*Ciport S.A.* <sup>(5)</sup> efectuó el levantamiento Batimétrico a Escala 1/500, del Área Acuática adyacente a la línea de Costa de propiedad de la Municipalidad de La Punta, aproximadamente 50 m de Costa por 150 m hacia el Mar. **(Ver Plano 02)** La etapa de sondeo se efectuó con el apoyo de una (01) Embarcación, equipada con un (01) Ecosonda Furuno una (01) Sondaleza, con dos (02) Correntómetros, Radios, Transreceptores, y otros Equipos Hidrográficos.

Posicionándolos por método de ángulos y distancias electrónica, medidos con un Distanciómetro desde una (01) Estación de Tierra de Coordenadas Geográficas conocidas al instante de la voz TOP y observación simultánea de sondeo con lancha.

Las profundidades han sido corregidas por efecto de la variación horaria de la marea refiriéndolos al Nivel Medio de Bajamares de Sicigias Ordinarias (N.M.B.S.O), haciendo uso de la Tabla de Mareas de la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra. **(Ver Tabla 2.7).**

## 2.3 GEODESIA Y TOPOGRAFÍA

*Ciport S.A.* <sup>(5)</sup> llevó a cabo la topografía en el área de estudio para efectos del presente estudio y abarcaron toda la parte comprendida entre el Muelle Canottieri y el Muelle del club Regatas Unión y un ancho promedio de 100 metros.

Este levantamiento se ha efectuado en forma detallada, poniendo un especial cuidado en el eje de la escollera, las cotas están referidas con respecto al Nivel Medio de Bajamares de Sicigeas Ordinarias (N.M.B.S.O.), establecido mediante una comparación del control de mareas efectuado en el lugar y una interpolación entre el pronóstico que se dan en la tabla de mareas para el 2003 de la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina.

TABLA 2.7

TABLA DE MAREAS 2003 - CALLAO  
DIRECCION DE HIDROGRAFIA Y NAVEGACION DE LA MARINA

ENERO								
Día	Hora	cm	Día	Hora	cm	Día	Hora	cm
1 VIÉRCOLES	03:43	67	11 SÁBADO	07:04	27	21 MARTES	02:25	30
	10:06	-3		14:04	60		07:24	60
	17:18	106		18:56	51		13:17	12
	23:47	33					20:22	103
2 JUEVES	04:36	64	12 DOMINGO	00:24	67	22 MIÉRCOLES	03:05	27
	10:52	-3		07:39	24		08:17	60
	18:06	109		14:57	70		14:03	18
		20:29		51	21:01		97	
3 VIERNES	00:41	30	13 LUNES	01:11	64	23 JUEVES	03:47	27
	05:28	60		08:13	21		09:19	64
	11:37	-3		15:37	76		14:55	24
	18:52	109		21:41	48		21:41	91
4 SÁBADO	01:33	30	14 MARTES	02:01	60	24 VIERNES	04:33	24
	06:20	57		08:47	18		10:31	64
	12:22	3		16:12	82		15:58	33
	19:38	109		22:34	45		22:26	85
5 DOMINGO	02:25	30	15 MIÉRCOLES	02:51	57	25 SÁBADO	05:23	21
	07:11	57		09:22	15		11:54	70
	13:06	6		16:46	91		17:21	42
	20:22	103		23:17	42		23:18	76
6 LUNES	03:16	30	16 JUEVES	03:39	57	26 DOMINGO	06:17	18
	08:04	54		09:59	12		13:19	76
	13:49	15		17:20	97		19:04	45
	21:05	97		23:56	30			
7 MARTES	04:06	30	17 VIERNES	04:24	57	27 LUNES	00:20	70
	09:01	51		10:37	9		07:14	15
	14:32	21		17:55	100		14:34	85
	21:47	91					20:46	45
8 VIÉRCOLES	04:56	30	18 SÁBADO	00:33	36	28 MARTES	01:31	64
	10:08	51		05:07	57		08:12	12
	15:18	30		11:15	6		15:36	94
	22:26	85		18:31	103		22:05	42
9 JUEVES	05:43	30	19 DOMINGO	01:10	33	29 MIÉRCOLES	02:42	60
	11:26	51		05:51	60		09:07	9
	16:11	39		11:54	6		16:28	100
	23:04	79		19:07	106		23:04	36
10 VIERNES	06:26	27	20 LUNES	01:47	33	30 JUEVES	03:46	60
	12:51	54		06:36	60		09:59	6
	17:22	45		12:35	6		17:15	106
	23:43	73		19:44	106		23:53	33
						31 VIERNES	04:41	64
							10:47	6
							17:58	109

\* Fuente: Tabla de Mareas 2003, Dirección de Hidrografía y Navegación.







<i>Estación P2</i>	<i>N 8'665,426.645</i>	<i>Lat. 12E03'50".504 S</i>
	<i>E 265,179.780</i>	<i>Long. 77E09'25".411 W</i>

### 2.3.2 CONTROL VERTICAL

El control vertical se realizó para dar cota a los puntos de referencia P1 = 0.78 m y P2 = 0.80 m, además de la vereda cercana a la zona de estudio = +2.23 m, que está referido al nivel medio de Bajamares de Sicigias Ordinarias (N.M.B.S.O) con la finalidad de apoyar al estudio de la determinación de la Línea Máxima Marea, y Línea de Baja Marea referido al Nivel Medio de Bajamares de Sicigias Ordinarias N.M.B.S.O.

### 2.4 VIENTOS PREDOMINANTES EN LA ZONA

Según *Ciport S.A.* <sup>(9)</sup>, la Provincia Constitucional del Callao cuenta con 2 estaciones meteorológicas, la primera de ellas, es la estación de La Punta, perteneciente a la Dirección de Hidrografía y Navegación, el cual está influenciada directamente por el efecto del Océano Pacífico, y la segunda estación es la del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez perteneciente a Senamhi.

Estadísticamente la componente principal del viento es del SSE, su velocidad media mensual multianual oscila entre 4.1 y 4.9 nudos, manteniendo su estabilidad direccional durante el 80 % del tiempo. **(Ver Foto Nº 9 del Anexo 4)**. En algunas ocasiones del año, el viento presenta componentes del Noroeste a Norte que se mantienen por algunas horas y en casos extremos entre 2 a 3 días. **(Ver Tabla 2.8)**

En el orden de meso-escala, la circulación es modificada debido a la presencia de vientos locales o térmicos que soplan de tierra a mar y de mar a tierra, a lo largo de la línea de costa, por diferencial de temperatura entre el mar y la tierra, acentuándose en las zonas del litoral con mayor área de desierto, como por ejemplo entre las áreas interfluviales.

Por el mismo principio de diferencia de temperatura, la circulación es levemente modificada mar afuera por presencia de bulbos de agua cálida y de acuerdo al gradiente térmico horizontal respecto a su periferia.

**TABLA 2.8**  
**VIENTO PREVALECIENTE MEDIA MENSUAL MULTIANUAL**  
**(RUMBO, NUDOS)**  
**Año 2003**

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
El Salto	W 4.5	W 3.2	W 3.9	W 2.6	W 4.2	W 3.8	W 4.2	W 3.8	W 3.7	W 3.9	W 4.0	W 4.3
Paíta	S 9.4	S 10.1	S 10.2	S 9.6	SE 9.5	S 9.4	S 10.5	S 10.4	S 10.2	S 10.2	S 11.0	S 10.6
Is. Lobos de Afuera	S 11.7	S 9.6	S 9.3	S 13.7	SE 16.7	SE 11.9	SE 10.0	S 8.5	S 11.9	S 11.0	S 8.8	S 9.7
Salaverry	S 5.1	S 4.6	S 4.2	S 5.0	S 4.3	S 4.2	S 4.2	S 4.9	S 5.7	S 5.9	S 6.1	S 5.1
Chimbote	S 5.1	S 4.5	S 4.8	S 4.8	S 5.1	S 5.1	S 4.9	S 4.7	S 5.4	S 5.0	S 5.2	S 5.2
Callao	S 4.9	S 4.9	S 4.7	S 4.7	S 4.5	S 4.1	S 4.3	S 4.3	S 4.6	S 4.8	S 4.7	S 4.7
Pisco	SW 8.8	SW 7.9	SW 8.7	SW 6.7	SW 8.5	SW 7.9	W 6.1	W 6.1	SW 8.3	W 7.3	SW 9.6	SW 8.5
San Juan	SE 5.8	S 13.0	SE 4.5	SE 5.2	SE 7.9	S 12.3	S 11.2	SE 5.8	S 13.1	S 13.5	S 12.0	S 12.1
Mollendo	SE 4.1	SE 4.3	SE 4.6	SE 5.1	S 3.6	S 4.0	S 4.9	SE 3.7	S 4.8	S 4.8	S 4.4	S 3.8
Ilo	SE 5.9	SE 7.0	SE 6.6	SE 5.7	SE 4.7	SE 3.6	SE 4.0	SE 4.5	SE 4.5	SE 4.1	SE 4.8	SE 5.6

\*Fuente: Derrotero de la Costa del Perú, Volumen II, Dirección de Hidrografía y Navegación.

## 2.5 INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

### 2.5.1 INFORMACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA

Según *Alva Hurtado* <sup>(1)</sup>, La Punta y el Callao, así como la ciudad de Lima, se encuentran dentro de los límites de influencia del cono deyeectivo Cuaternario del Río Rímac, según se muestra en la **Fig. 2.5**, este cono consiste de material aluvial de estructura lentiforme, donde se superponen depósitos de cantos rodados, arena, arcilla y limo, en forma heterogénea.

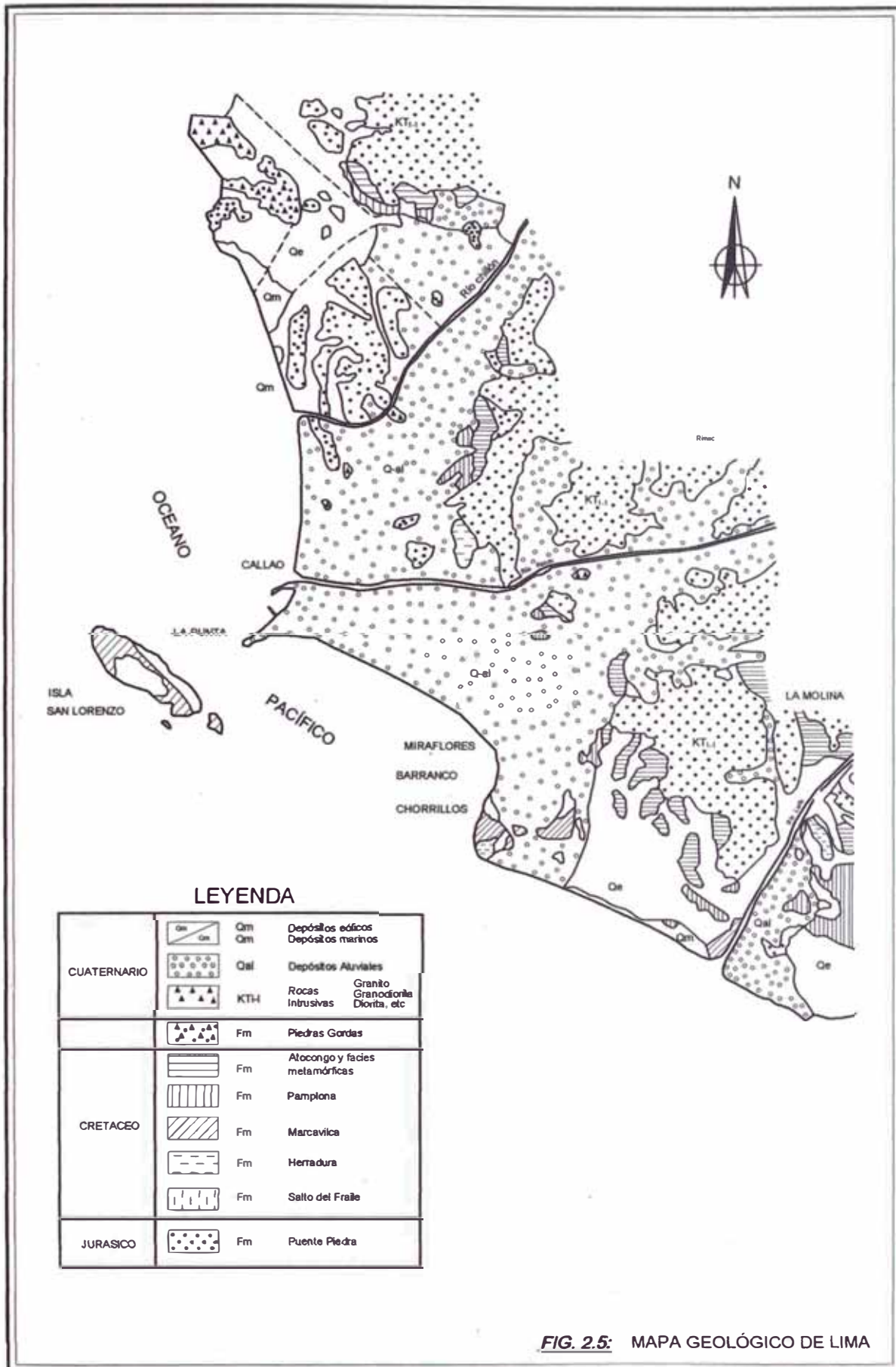
La formación geológica de La Punta se explica por la acción erosiva del mar que en tiempos anteriores ha atacado el cono deyeectivo del Rímac, socavándolo y formando el barranco que se extiende desde el Morro Solar hasta el Callao. Los materiales caídos al mar estuvieron sujetos a su acción y fueron arrastrados hacia las zonas de la Islas san Lorenzo y El Frontón, acumulándose el material que ha formado la península de La Punta. (**Ver Fig. 2.6**). Podemos decir que en la zona de La Punta la estratigrafía está conformada por un relleno gravoso artificial no mayor de 3 m, debajo del cual se encuentra un estrato de suelos granulares gruesos conformado por gravas y arenas de gradación pobre, GP y SP, que tienen un espesor promedio de 12 m, a lo largo de La Punta. A continuación, existe un estrato de arena fina con lentes de limo y/o arcilla, de medio de 20 m, a lo largo de La Punta, y llega a tener hasta 28 m, en el área de la Escuela Naval. Finalmente, debajo del estrato anterior se halla la grava arenosa densa que pertenece al cono de deyección del Rímac.

Para el primer estrato, la capacidad portante varía de 1.5 a 2.0 kg/cm<sup>2</sup>, a profundidades de cimentación de 1.4 a 3.0 m, es decir, debajo del relleno superficial gravoso y encima de la napa freática, que oscila entre 1.5 a 3.5 m.

### 2.5.2 RIESGO SÍSMICO

Según *Alva Hurtado* <sup>(1)</sup>, la zona de subducción del Pacífico, que corre paralela a gran parte de la costa oeste de Sudamérica, es lugar frecuente de reajustes de la corteza terrestre, los cuales producen sismos de gran magnitud. Por ello, el Perú ha sufrido sismos muy severos de consecuencias devastadoras. La ciudad de Lima ha experimentado en los pasados 40 años, 6 sismos con magnitudes de onda superficial en el rango de 6.0 a 7.6.

Esos sismos han causado niveles de daño relativamente bajos en la ciudad, a pesar de que las aceleraciones en la superficie del suelo han sido tan altas como 0.40g (terremoto de 1966), y las duraciones del movimiento fuerte han sido



**FIG. 2.5:** MAPA GEOLÓGICO DE LIMA

FUENTE: Revista El Ingeniero Civil, Nº 124, Agosto - Setiembre 2002.



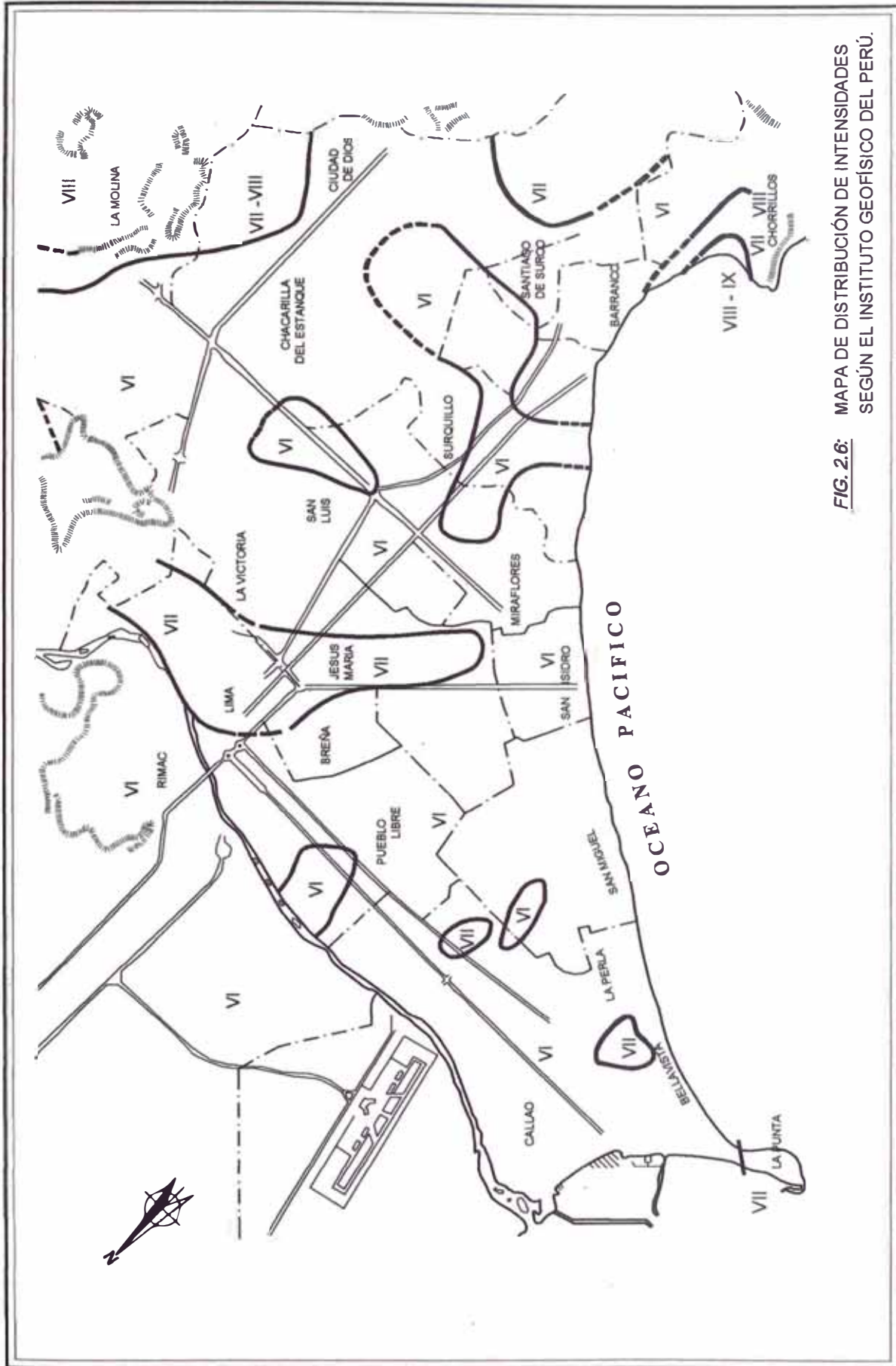


FIG. 2.6: MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE INTENSIDADES SEGÚN EL INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ.

FUENTE: Revista El Ingeniero Civil, Nº 124, Agosto - Setiembre 2002.

mayores que un minuto (terremoto 1974). Para el análisis de riesgo sísmico, el CISMID empleó el método de microtrrepidaciones (**Ver Fig. 2.7**), que consiste en medir las vibraciones del suelo que están en el rango de 0.1 a 1.0 micra de amplitud, y de 0.05 a 2.0 seg. de periodo, según la definición japonesa de Kanai, las cuales son grabadas con un adecuado nivel de amplificación y reproducidas después para analizar su contenido de frecuencias y periodo predominante, valor que sirve para conocer el comportamiento dinámico del suelo y determinar los parámetros sísmicos relativos al diseño de las construcciones sismo-resistentes. De estos estudios para la zona de la Punta y Chucuito están caracterizados por un periodo promedio de 0.50 seg.

### 2.5.3 IMPACTO AMBIENTAL

Para llevar a cabo este tipo de obras marítimas es necesario la presentación y elaboración de una Evaluación del Impacto Ambiental, que tiene como objetivo demostrar que la estructura propuesta no afectará en nada o mínimamente al medio ambiente, los parámetros y contenido mínimo de un Estudio de Impacto Ambiental está regido por el TUPAM, después de realizado el respectivo estudio se llega a la conclusión que esta estructura propuesta no afectará el medio ambiente ni impedirá el normal transporte de sedimentos, por lo que el impacto al medio ambiente será mínimo, el resumen y los aspectos más importantes de la Evaluación del Impacto Ambiental lo presentamos en el **Anexo N° 2**.

### 2.5.4 TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

La costa está conformada por sedimento y este es transportado a lo largo de ella por la presencia de una corriente que tiene energía suficiente para movilizar partículas del fondo. Esta corriente es originada por la aproximación oblicua de las olas cortas a la costa, y que es determinante en la migración de sedimentos en la costa del Perú. Los otros factores no tienen influencia en la movilización de sedimentos.

Cuando las olas se acercan en forma oblicua origina corriente paralela a ella que moviliza el sedimento en forma longitudinal a la costa y una corriente perpendicular a ella que moviliza el sedimento en forma transversal que origina el movimiento de sedimentos en ese sentido. Las olas que originan el transporte de sedimentos son las olas que vemos en el mar cuando estamos en la playa.

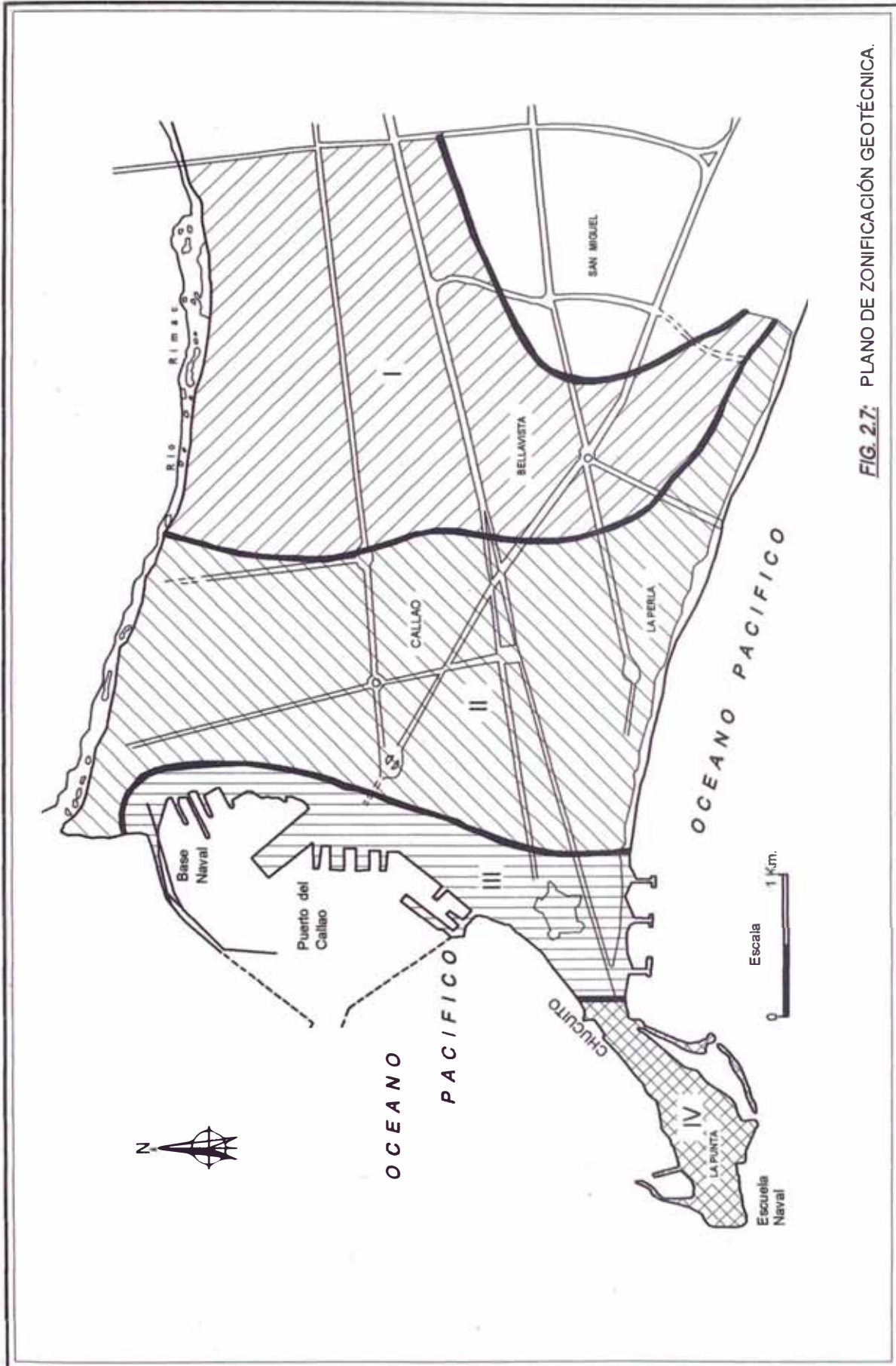


FIG. 2.7: PLANO DE ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA.

FUENTE: Revista El Ingeniero Civil, N° 124, Agosto - Setiembre 2002.



Estas olas que llegan a la zona del proyecto tienen altura, periodo, dirección y ocurrencias diferentes, que se generan frente a las costas de Chile llegan a la costa peruana en dirección sur y suroeste. Al acercarse a la costa, el cambio de profundidad causa disminución en la celeridad y, como consecuencia de estos, disminuye la longitud, aumenta su altura y el frente de oleaje se reorienta y tiende a ser paralelo a las curvas batimétricas; si el oleaje es interrumpido por la presencia de un obstáculo, ya sea natural o artificial (isla, rompeolas), las olas se curvan alrededor del obstáculo y penetran dentro de la zona protegida.

La cuantificación del transporte litoral se puede hacer mediante los métodos: Medición directa y fórmulas empíricas. Haremos uso de la cuantificación del transporte de sedimentos mediante fórmulas empíricas. La más usada es la Fórmula del CERC (Coastal Engineering Research Center), la cual da una estimación del transporte total a lo largo de la costa en estudio.

$$S = A.H_o^2.C_o.Kr_{br}^2.sen(\varphi_{br}).cos(\varphi_{br})$$

Donde:

S	= Transporte litoral (m <sup>3</sup> /seg/m).
A	= Constante de proporcionalidad.
Kr <sub>br</sub>	= Coeficiente de refracción en la parte exterior de la zona de rompiente.
φ <sub>br</sub>	= Ángulo entre la cresta de la ola y la costa en la parte exterior de la zona de rompientes (grados).
H <sub>o</sub>	= Altura de la ola en aguas profundas (m).
C <sub>o</sub>	= Celeridad de la ola en aguas profundas (m/seg).

Según CERC tomando en cuenta las diferentes alturas de olas y sus respectivas incidencias en la zona de rompiente de la marina (**Ver Tabla 2.9**) se obtienen los transportes indicados.

Por otra parte, ésta fórmula tiene algunas limitaciones en su concepción, aunque ha dado relativamente buenos resultados prácticos:

- No da la distribución del transporte en la zona de rompientes.
- No considera la influencia de la pendiente de la playa.
- No considera el diámetro de las partículas.
- Esta fórmula empírica fue desarrollada para costas arenosas en USA.

**Tabla 2.9**  
**TRANSPORTE DE SEDIMENTOS**

Porcentaje de incidencia de las alturas de olas (Ver Fig 3.1)

Profundidad  $d = -3.0$  m

Altura promedio de las olas (m)	Porcentaje de incidencia (%)
0.50	0.65
1.00	38.20
1.50	45.50
2.00	7.00
2.50	2.32
3.00	0.10
3.50	0.09

Estimación del transporte de sedimentos según la fórmula del CERC:

Altura Prom. Olas en Aguas Profundas $H_o$ (m)	Porcentaje de incidencia (%)	Angulo en Rompiente	S transporte ( $m^3/seg/m$ )
0.60	0.85	5°	0.00001831636
1.20	38.20	5°	0.00329263439
1.75	45.50	5°	0.00834075087
2.38	8.85	5°	0.00300064654
2.98	2.62	5°	0.00139268044
3.61	2.28	5°	0.00177855339
4.10	1.25	5°	0.00125775306
<b>Total</b>	<b>9.955</b>		<b>0.019815304</b>

Transporte de sedimentos ( $m^3/año$ ) = 601,748.98

$$S = A.H_o^2.C_o.Kr_{br}^2.sen(\varphi_{br}).cos(\varphi_{br})$$

Donde:

A : 0.012  
 $C_o$  : 10.93 (m/seg)  
 $Kr$  : 0.725  
 $\varphi_{br}$  : 5°

## CAPÍTULO III: DISEÑO DE LA DEFENSA

### 3.1 CONCEPCIÓN Y CONCEPTO DE DEFENSA

La solución planteada para la defensa ribereña del Malecón Figueredo obedece a una solución conveniente e inmediata contemplada desde el punto de vista técnico y económico.

La alternativa consiste en la construcción de un espigón de arranque de aproximadamente 28 metros de longitud por 3.50 metros de ancho, consiste en una rampa que se inicia en la cota +2.23 m, y llega hasta la cota +3.50 m, su sección típica es trapezoidal conformado por rocas acomodadas en dos capas de pesos diferentes sobre un material de relleno conformado por rocas menudas. Su coronación o piso de rodadura está conformado por material afirmado, el que quedará listo para recibir pavimento asfáltico.

Luego viene un puente de acceso, el cual será de 3.50 metros de ancho y 50 metros de longitud; estará constituido por once (11) pórticos de concreto armado, distanciados a 5.0 metros, el cual está formado por dos pilotes verticales unidos por una viga cabezal y sobre la cual se apoyan dos losas nervadas prefabricadas y una losa plana central vaciada in situ; este puente permitirá el normal paso de los sedimentos.

Finalmente se llega a una escollera ovalada de 4 metros de longitud por 3.50 metros de ancho, la sección de la escollera es trapezoidal, su nivel de coronación será de +3.50 m, con taludes de 1:1.5 en la zona protegida (zona del embarcadero) y un talud 1:2 en la zona que recibe el oleaje; este rompeolas contará con un embarcadero en su zona abrigada, el cual será de 10 m de largo por 4m de ancho, el mismo será de rieles y entablado de madera.

De esta forma se protege una buena zona del Malecón y se impulsa la actividad turística y recreativa de la zona.

### 3.2 PARÁMETROS DE DISEÑO

#### 3.2.1 CÁLCULO DE LA ALTURA DE OLA DE DISEÑO

Para diseñar el rompeolas es necesario esquematizar la planta del mismo y analizar el oleaje que llegará a esta. Se dispone del gráfico de la planta y la distribución del oleaje medido a -15 m en Salaverry durante 4 años.

Este oleaje ha sido llevado de la zona de medición hasta aguas profundas, como se sabe el oleaje en aguas profundas es el mismo en toda la costa peruana debido a que tienen la misma fuente de generación.

Con la distribución de olas disponibles en aguas profundas frente a la zona del proyecto; y con los gráficos de refracción, se ha llevado el oleaje de aguas profundas en la zona del proyecto (frente al rompeolas). Con este oleaje se define la planta y la sección del rompeolas.

Según César Fuentes Ortiz <sup>(12)</sup>, la altura de la ola está dada por:

$$H_o = \frac{H_s}{K_r * K_{sh} * K_d}$$

Donde:

- $H_o$  : Altura de ola en aguas profundas.
- $H_s$  : Altura de ola a una profundidad determinada.
- $K_r$  : Coeficiente de refracción.
- $K_s$  : Coeficiente de bajos (Shoaling).
- $K_d$  : Coeficiente de difracción.

Tomando los valores del oleaje en aguas profundas en Salaverry, primeros se ha llevado la ola de aguas profundas (-160 m) a aguas intermedias (-30 m) y de allí a aguas poco profundas hasta la curva batimétrica (-3 m) en la zona de estudio.

Las direcciones provenientes del Sur son las de mayor frecuencia de ocurrencia, sin embargo, las que provienen del Suroeste y Oeste son las que atacan directamente, pero con menor frecuencia de ocurrencia, para llevar las olas hasta aguas intermedias se cálculo el Coeficiente de Refracción (**Ver Plano 04**), obteniéndose el valor de:

$$K_r = 0.7385$$

Así mismo para calcular el Coeficiente Shoaling ( $K_s$ ) previamente se calcula la longitud de la ola en la batimetría -30 m

$$\frac{d_{30}}{L_o} = \frac{30}{(1.56)(14)^2} = 0.0981$$

Con este valor ingresamos a la **Tabla 3.1** de donde obtenemos el valor de:

$$K_s = 0.9345$$

Con lo cual obtenemos la relación:

$$H_{30} = 0.6901H_o$$

Esto nos permitirá obtener el registro de ocurrencia de olas significantes ( $H_s$ ) a 30 metros de La Punta. (**Ver Fig 3.1 y Tabla 3.2**).

Del mismo modo procedemos para llevar las olas de los 30 metros hacia los 3 m de profundidad en la zona de estudio. Se cálculo el Coeficiente de Refracción (**Ver Plano 05**), obteniéndose el valor de:

$$K_r = 0.4256$$

Así mismo para calcular el Coeficiente Shoaling ( $K_s$ ) previamente se calcula la longitud de la ola en la batimetría -3 m

$$\frac{d_3}{L_o} = \frac{3}{(1.56)(14)^2} = 0.0098$$

Con este valor ingresamos a la **Tabla 3.3** de donde obtenemos el valor de

$$K_s = 1.442$$

Según el diagrama de refracción de olas en aguas profundas, las olas llegan al extremo noroeste de la Isla San Lorenzo desde el suroeste y oeste con 60° y 30° respectivamente. Analizando para las olas provenientes del suroeste y oeste se obtuvieron los valores de: (**Ver Fig 3.2 y 3.3**).

$$\text{Para } \theta = 60^\circ \quad K_d = 0.510$$

$$\text{Para } \theta = 30^\circ \quad K_d = 0.725$$

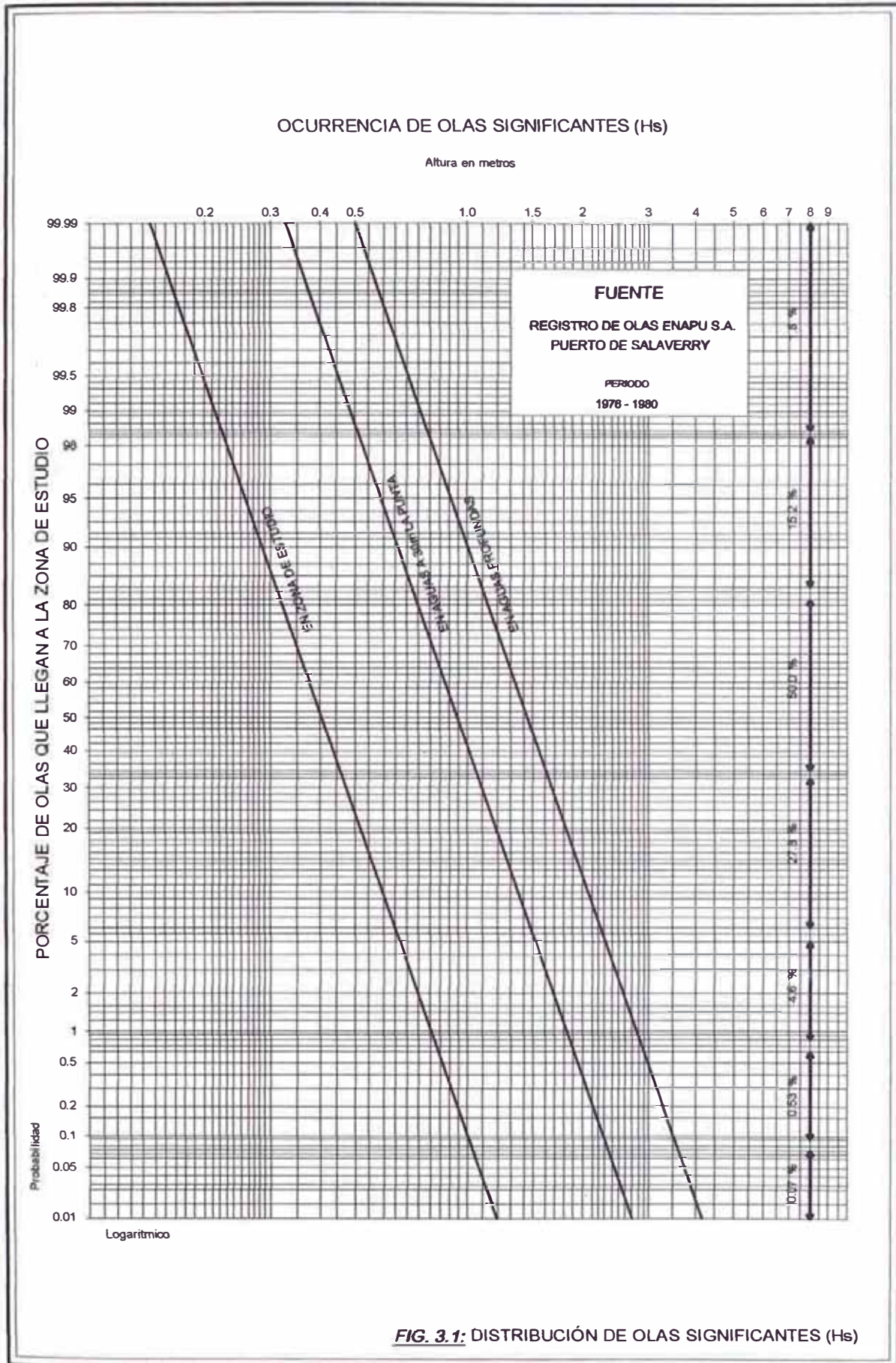
Tomando en consideración que en el lado noroeste de la Isla San Lorenzo, las olas que proceden del suroeste ingresan ya difractadas, siendo las de mayor

TABLA 3.1  
VALORES DE LAS FUNCIONES DE  $d/L_0$ , SEGÚN WIEGEL

$d/L_0$	$d/L$	$2\pi d/L$	$\tanh \frac{2\pi d}{L}$	$\sinh \frac{2\pi d}{L}$	$\cosh \frac{2\pi d}{L}$	$\sinh$	$\cosh$	$n$	$K_s$
0.095	0.1366	0.8583	0.6953	0.9677	1.3917	2.693	2.873	0.8187	0.9371
0.096	0.1375	0.8639	0.6982	0.9755	1.3970	2.726	2.903	0.817	0.9362
0.097	0.1384	0.8694	0.7011	0.9832	1.4023	2.757	2.933	0.8153	0.9353
0.098	0.1392	0.8749	0.7039	0.9908	1.4077	2.790	2.963	0.8136	0.9344
0.099	0.1401	0.8803	0.7066	0.9985	1.4131	2.822	2.994	0.8120	0.9335
0.100	0.1410	0.8858	0.7093	1.006	1.4187	2.855	3.025	0.8103	0.9327
0.101	0.1419	0.8913	0.7120	1.014	1.4242	2.888	3.057	0.8086	0.9319
0.102	0.1427	0.8967	0.7147	1.022	1.4297	2.922	3.088	0.8069	0.9311
0.103	0.1436	0.9023	0.7173	1.030	1.4354	2.956	3.121	0.8052	0.9304
0.104	0.1445	0.9076	0.7200	1.037	1.4410	2.990	3.153	0.8036	0.9297
0.105	0.1453	0.9130	0.7226	1.045	1.4465	3.024	3.185	0.8019	0.9290
0.106	0.1462	0.9184	0.7252	1.053	1.4523	3.059	3.218	0.8003	0.9282
0.107	0.1470	0.9239	0.7277	1.061	1.4580	3.094	3.251	0.7986	0.9276
0.108	0.1479	0.9293	0.7303	1.069	1.4638	3.128	3.284	0.7970	0.9269
0.109	0.1488	0.9343	0.7327	1.076	1.4692	3.164	3.319	0.7954	0.9263
0.110	0.1496	0.9400	0.7352	1.085	1.4752	3.201	3.353	0.7937	0.9257
0.111	0.1505	0.9456	0.7377	1.093	1.4814	3.237	3.388	0.7920	0.9251
0.112	0.1513	0.9508	0.7402	1.101	1.4871	3.274	3.423	0.7904	0.9245
0.113	0.1522	0.9563	0.7426	1.109	1.4932	3.312	3.459	0.7888	0.9239
0.114	0.1530	0.9616	0.7450	1.117	1.4990	3.348	3.494	0.7872	0.9234
0.115	0.1539	0.9670	0.7474	1.125	1.5051	3.385	3.530	0.7856	0.9228
0.116	0.1547	0.9720	0.7497	1.133	1.5108	3.423	3.566	0.7840	0.9223
0.117	0.1556	0.9775	0.7520	1.141	1.5171	3.462	3.603	0.7824	0.9218
0.118	0.1564	0.9827	0.7543	1.149	1.5230	3.501	3.641	0.7808	0.9214
0.119	0.1573	0.9882	0.7566	1.157	1.5293	3.540	3.678	0.7792	0.9209
0.120	0.1581	0.9936	0.7589	1.165	1.5356	3.579	3.716	0.7776	0.9204
0.121	0.1590	0.9989	0.7612	1.174	1.5418	3.620	3.755	0.776	0.9200
0.122	0.1598	1.004	0.7634	1.182	1.5479	3.659	3.793	0.7745	0.9196
0.123	0.1607	1.010	0.7656	1.190	1.5546	3.699	3.832	0.7729	0.9192
0.124	0.1615	1.015	0.7678	1.198	1.5605	3.740	3.871	0.7713	0.9189
0.125	0.1624	1.020	0.7700	1.207	1.5674	3.782	3.912	0.7698	0.9186
0.126	0.1632	1.025	0.7721	1.215	1.5734	3.824	3.952	0.7682	0.9182
0.127	0.1640	1.030	0.7742	1.223	1.5795	3.865	3.992	0.7667	0.9178
0.128	0.1649	1.036	0.7763	1.231	1.5862	3.907	4.033	0.7652	0.9175
0.129	0.1657	1.041	0.7783	1.24	1.5927	3.950	4.074	0.7637	0.9172
0.130	0.1665	1.046	0.7804	1.248	1.5990	3.992	4.115	0.7321	0.9169
0.131	0.1674	1.052	0.7824	1.257	1.6060	4.036	4.158	0.7606	0.9166
0.132	0.1682	1.057	0.7844	1.265	1.6124	4.08	4.201	0.7591	0.9164
0.133	0.1691	1.062	0.7856	1.273	1.6191	4.125	4.245	0.7575	0.9161
0.134	0.1699	1.068	0.7885	1.282	1.6260	4.169	4.288	0.756	0.9158
0.135	0.1708	1.073	0.7905	1.291	1.633	4.217	4.334	0.7545	0.9156
0.136	0.1716	1.078	0.7925	1.300	1.640	4.262	4.378	0.7530	0.9154
0.137	0.1724	1.084	0.7945	1.308	1.647	4.309	4.423	0.7515	0.9152
0.138	0.1733	1.089	0.7964	1.317	1.654	4.355	4.468	0.7500	0.9150
0.139	0.1741	1.094	0.7983	1.326	1.660	4.402	4.514	0.7485	0.9148
0.140	0.1749	1.099	0.8002	1.334	1.667	4.450	4.561	0.7471	0.9146
0.141	0.1758	1.105	0.8021	1.343	1.675	4.498	4.607	0.7456	0.9144
0.142	0.1766	1.110	0.8039	1.352	1.681	4.546	4.654	0.7441	0.9142
0.143	0.1774	1.115	0.8057	1.360	1.688	4.595	4.663	0.7426	0.9141
0.144	0.1783	1.120	0.8076	1.369	1.696	4.644	4.751	0.7412	0.9140
0.145	0.1791	1.125	0.8094	1.378	1.703	4.695	4.800	0.7397	0.9139
0.146	0.1800	1.131	0.8112	1.388	1.710	4.746	4.850	0.7382	0.9137
0.147	0.1808	1.136	0.8131	1.397	1.718	4.798	4.901	0.7368	0.9136
0.148	0.1816	1.141	0.8149	1.405	1.725	4.847	4.951	0.7354	0.9135
0.149	0.1825	1.146	0.8166	1.415	1.732	4.901	5.001	0.7339	0.9134

Fuente: Manual de Diseño de Obras Civiles, Comisión Federal de Electricidad México.





**FIG. 3.1:** DISTRIBUCIÓN DE OLAS SIGNIFICANTES (Hs)

FUENTE: Registro de Olas en Puerto de Salaverry, ENAPU S.A.

TABLA 3.2

ALTURA DE OLAS SIGNIFICANTES

ALTURA DE OLAS EN AGUAS PROFUNDAS				% DE OCURRENCIA EN EL TIEMPO
Entre	0.50 m	-	0.80 m	1.80%
Entre	0.80 m	-	1.10 m	15.20%
Entre	1.10 m	-	1.60 m	50.00%
Entre	1.60 m	-	2.40 m	27.80%
Entre	2.40 m	-	3.00 m	4.60%
Entre	3.00 m	-	3.60 m	0.53%
Entre	3.60 m	-	4.20 m	0.07%

ALTURA DE OLAS A 30 m DE LA PUNTA				% DE OCURRENCIA EN EL TIEMPO
Entre	0.345 m	-	0.552 m	1.80%
Entre	0.552 m	-	0.759 m	15.20%
Entre	0.759 m	-	1.104 m	50.00%
Entre	1.104 m	-	1.656 m	27.80%
Entre	1.656 m	-	2.070 m	4.60%
Entre	2.070 m	-	2.484 m	0.53%
Entre	2.484 m	-	2.898 m	0.07%

ALTURA DE OLAS EN ZONA DE ESTUDIO				% DE OCURRENCIA EN EL TIEMPO
Entre	0.153 m	-	0.246 m	1.80%
Entre	0.246 m	-	0.338 m	15.20%
Entre	0.338 m	-	0.491 m	50.00%
Entre	0.491 m	-	0.737 m	27.80%
Entre	0.737 m	-	0.921 m	4.60%
Entre	0.921 m	-	1.105 m	0.53%
Entre	1.105 m	-	1.289 m	0.07%

TABLA 3.3  
VALORES DE LAS FUNCIONES DE  $d/L_0$ , SEGÚN WIEGEL

$d/L_0$	$d/L$	$2\pi d/L$	$\tanh 2\pi d/L$	$\sinh 2\pi d/L$	$\cosh 2\pi d/L$	$\sinh$	$\cosh$	$n$	$K_s$
0.0065	0.03238	0.2035	0.2007	0.2049	1.0208	0.4183	1.084	0.9865	1.589
0.0066	0.03264	0.2051	0.2022	0.2065	1.0211	0.4217	1.085	0.9863	1.583
0.0067	0.03289	0.2066	0.2037	0.2081	1.0214	0.4251	1.087	0.9860	1.578
0.0068	0.03313	0.2082	0.2052	0.2097	1.0217	0.4285	1.088	0.9858	1.572
0.0069	0.03338	0.2097	0.2067	0.2113	1.0221	0.4319	1.089	0.9856	1.567
0.0070	0.03362	0.2113	0.2082	0.2128	1.0224	0.4352	1.091	0.9854	1.561
0.0071	0.03387	0.2128	0.2096	0.2144	1.0227	0.4386	1.092	0.9852	1.556
0.0072	0.03411	0.2143	0.2111	0.2160	1.0231	0.4419	1.093	0.9850	1.551
0.0073	0.03435	0.2158	0.2125	0.2175	1.0234	0.4452	1.095	0.9848	1.546
0.0074	0.03459	0.2173	0.2139	0.2190	1.0237	0.4484	1.096	0.9846	1.541
0.0075	0.03482	0.2188	0.2154	0.2205	1.0240	0.4517	1.097	0.9844	1.536
0.0076	0.03506	0.2203	0.2168	0.2221	1.0244	0.4549	1.099	0.9842	1.531
0.0077	0.03529	0.2218	0.2182	0.2236	1.0247	0.4582	1.100	0.9840	1.526
0.0078	0.03552	0.2232	0.2196	0.2251	1.0250	0.4614	1.010	0.9838	1.521
0.0079	0.03576	0.2247	0.2209	0.2265	1.0253	0.4646	1.103	0.9836	1.517
0.0080	0.03598	0.2261	0.2223	0.2280	1.0257	0.4678	1.104	0.9834	1.512
0.0081	0.03621	0.2275	0.2237	0.2295	1.0260	0.4709	1.105	0.9832	1.508
0.0082	0.03644	0.2290	0.2250	0.2310	1.0263	0.4741	1.107	0.9830	1.503
0.0083	0.03666	0.2304	0.2264	0.2324	1.0266	0.4772	1.108	0.9827	1.499
0.0084	0.0369	0.2318	0.2277	0.2338	1.0270	0.4803	1.109	0.9825	1.495
0.0085	0.03711	0.2332	0.2290	0.2353	1.0273	0.4834	1.111	0.9823	1.491
0.0086	0.03733	0.2346	0.2303	0.2367	1.0276	0.4865	1.112	0.9821	1.487
0.0087	0.03755	0.2360	0.2317	0.2381	1.0280	0.4896	1.113	0.9819	1.482
0.0088	0.03777	0.2373	0.2330	0.2396	1.0283	0.4927	1.115	0.9817	1.478
0.0089	0.03799	0.2387	0.2343	0.2410	1.0286	0.4957	1.116	0.9815	1.474
0.0090	0.03821	0.2401	0.2356	0.2424	1.0290	0.4988	1.118	0.9813	1.471
0.0091	0.03842	0.2414	0.2368	0.2438	1.0293	0.5018	1.119	0.9811	1.467
0.0092	0.03864	0.2428	0.2381	0.2452	1.0296	0.5049	1.120	0.9809	1.463
0.0093	0.03885	0.2441	0.2394	0.2465	1.0299	0.5079	1.122	0.9807	1.459
0.0094	0.03906	0.2455	0.2407	0.2479	1.0303	0.5109	1.123	0.9805	1.456
0.0095	0.03928	0.2468	0.2419	0.2493	1.0306	0.5138	1.124	0.9803	1.452
0.0096	0.03949	0.2481	0.2431	0.2507	1.0309	0.5168	1.126	0.9801	1.448
0.0097	0.03970	0.2494	0.2443	0.2520	1.0313	0.5198	1.127	0.9799	1.445
0.0098	0.03990	0.2507	0.2456	0.2534	1.0316	0.5227	1.128	0.9797	1.442
0.0099	0.04011	0.2520	0.2468	0.2547	1.0319	0.5257	1.130	0.9794	1.438
0.0100	0.04032	0.2533	0.2480	0.2560	1.0322	0.5286	1.131	0.9792	1.435
0.0110	0.04233	0.2660	0.2598	0.2691	1.0356	0.5574	1.145	0.9772	1.403
0.0120	0.04426	0.2781	0.2711	0.2817	1.0389	0.5853	1.159	0.9751	1.375
0.0130	0.04612	0.2898	0.2820	0.2938	1.0423	0.6125	1.173	0.9731	1.350
0.0140	0.04791	0.3010	0.2924	0.3056	1.0456	0.6391	1.187	0.9710	1.327
0.0150	0.04964	0.3119	0.3022	0.3170	1.0490	0.6651	1.201	0.9690	1.307
0.0160	0.05132	0.3225	0.3117	0.3281	1.0524	0.6906	1.215	0.9670	1.288
0.0170	0.05296	0.3328	0.3209	0.3389	1.0559	0.7158	1.230	0.9649	1.271
0.0180	0.05455	0.3428	0.3298	0.3495	1.0593	0.7405	1.244	0.9629	1.255
0.0190	0.05611	0.3525	0.3386	0.3599	1.0628	0.7650	1.259	0.9609	1.240
0.0200	0.05763	0.3621	0.3470	0.3701	1.0663	0.7891	1.174	0.9588	1.226
0.0210	0.05912	0.3714	0.3552	0.3800	1.0698	0.8131	1.289	0.9568	1.213
0.0220	0.06057	0.3806	0.3632	0.3898	1.0733	0.8368	1.304	0.9548	1.201
0.0230	0.06200	0.3896	0.3710	0.3995	1.0768	0.8603	1.319	0.9528	1.189
0.0240	0.06340	0.3984	0.3786	0.4090	1.0804	0.8837	1.335	0.9508	1.178
0.0250	0.06478	0.4070	0.3860	0.4184	1.0840	0.9069	1.350	0.9488	1.168
0.0260	0.06613	0.4155	0.3932	0.4276	1.0876	0.9310	1.366	0.9468	1.159
0.0270	0.06747	0.4239	0.4002	0.4367	1.0912	0.9530	1.381	0.9448	1.150
0.0280	0.06878	0.4322	0.4071	0.4457	1.0949	0.9760	1.397	0.9428	1.141
0.0290	0.07007	0.4403	0.4138	0.4546	1.0985	0.9988	1.413	0.9408	1.133

Fuente: Manual de Diseño de Obras Civiles, Comisión Federal de Electricidad México.







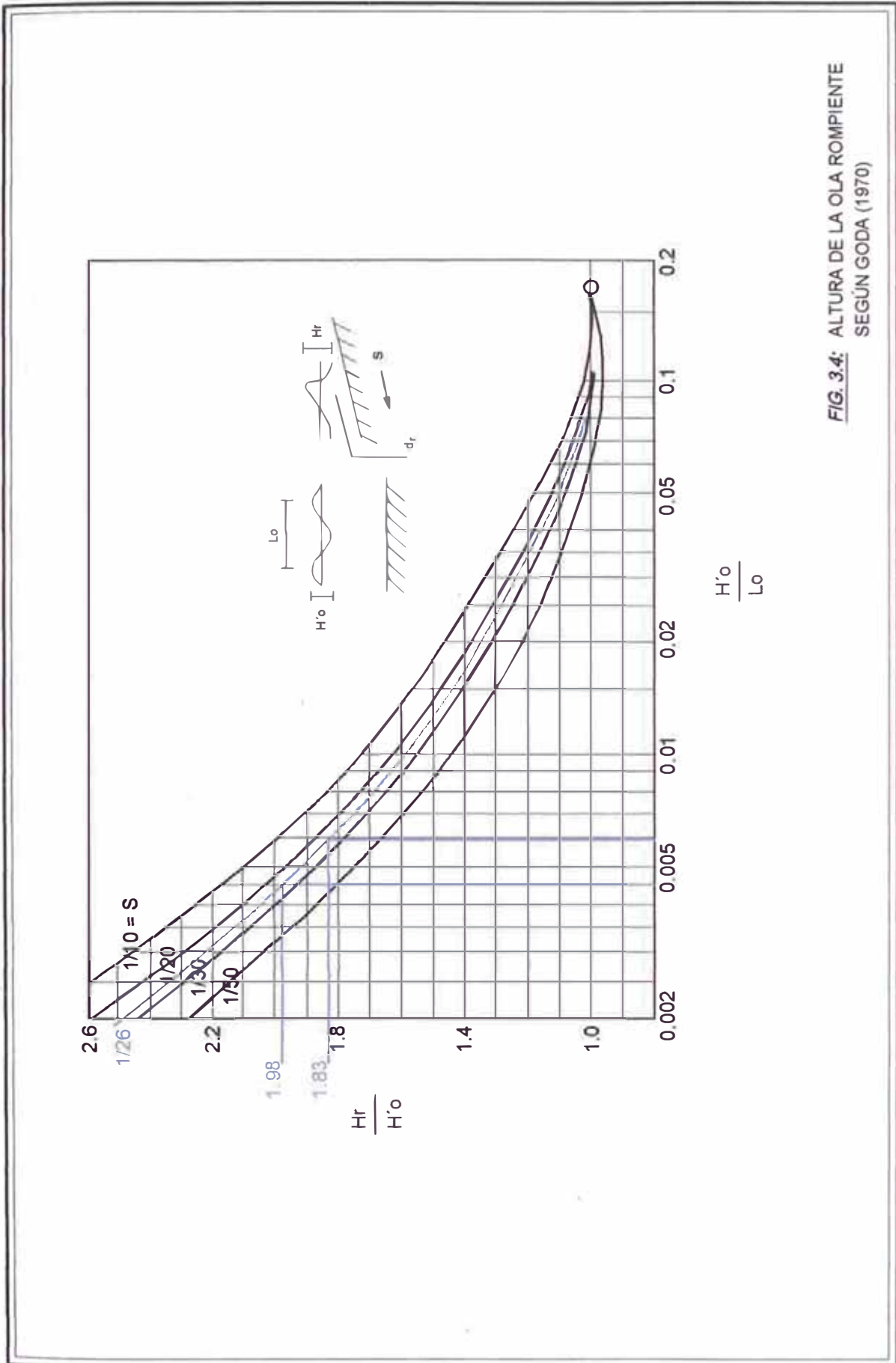


FIG. 3.4: ALTURA DE LA OLA ROMPIENTE  
SEGÚN GODA (1970)

FUENTE: Manual de Diseño de Obras Civiles, Comisión Federal de Electricidad México.



consideración las olas que ingresan pegadas a la isla, fuera del área adyacente a la isla, el oleaje se reduce notoriamente pasando prácticamente desapercibidas en la zona de interés ya que el radio desde el extremo de la Isla San Lorenzo hacia la zona de estudio es de aproximadamente 10,000 m de distancia. Por tal motivo se toma el valor más desfavorable, por lo tanto el Coeficiente de Difracción es de:

$$K_d = 0.725$$

Con los datos obtenidos obtenemos la relación

$$H_3 = 0.4449H_o$$

Esto nos permitirá obtener el registro de ocurrencia de olas significantes ( $H_s$ ) a 3 metros de profundidad que es nuestra zona de interés. (Ver Fig 3.1 y Tabla 3.2).

Luego considerando para el diseño del rompeolas la probabilidad para el periodo de vida útil de 25 años, se producirá una ola que será excedida sólo un día. Obteniendo:

$$P_{rompeolas} = \frac{100}{(25)(360)} = 0.011\%$$

Del gráfico de macro distribuciones ( $H_s$ ) vs Probabilidad de Ocurrencia (Ver Fig 3.1) e interpolando corresponde la altura de ola significativa en la zona de estudio de 1.19m.

$$H = 1.19 \text{ m}$$

### 3.2.2 ROMPIENTE

Cálculo de la ola que llega a la cota – 3 m.

$H'_o$  para el gráfico de Goda de olas rompientes (Ver Fig 3.4):

$$H'_o = K_r \cdot H_o$$

$$H'_o = 0.4256H_o = (0.4256)(4.25) = 1.81 \text{ m}$$

Hallando la altura de ola rompiente  $H_r$  :

$$\frac{H'_o}{L_o} = \frac{1.81}{305.76} = 0.00592$$

$$\text{Pendiente de fondo} = 0.038 = 1/26$$

Se obtiene  $H_r/H'_o = 1.83$

$$H_r = 1.83H'_o = (1.83)(1.81) = 3.31 \text{ m}$$

Cálculo de la profundidad de la rompiente (**Ver Fig 3.5**):

$$\frac{H'_o}{L_o} = \frac{1.81}{305.76} = 0.00592$$

$$\text{Pendiente de fondo} = 0.038 = 1/26$$

Se obtiene  $d_r/H'_o = 1.87$

$$d_r = 1.87H'_o = (1.87)(1.81) = 3.38 \text{ m}$$

Si  $3.00 < 3.38$  la ola es rompiente

Como la condición mencionada no se cumple se procederá a recalculer los valores de manera de cumplir con la condición de ola no rompiente. Así tenemos:

Cálculo de la ola que llega a la cota – 3 m.

$H'_o$  para el gráfico de Goda de olas rompientes (**Ver Fig 3.4**):

$$H'_o = K_r \cdot H_o$$

$$H'_o = 0.4256H_o = (0.4256)(3.25) = 1.38 \text{ m}$$

Hallando la altura de ola rompiente  $H_r$  :

$$\frac{H'_o}{L_o} = \frac{1.38}{305.76} = 0.0045$$

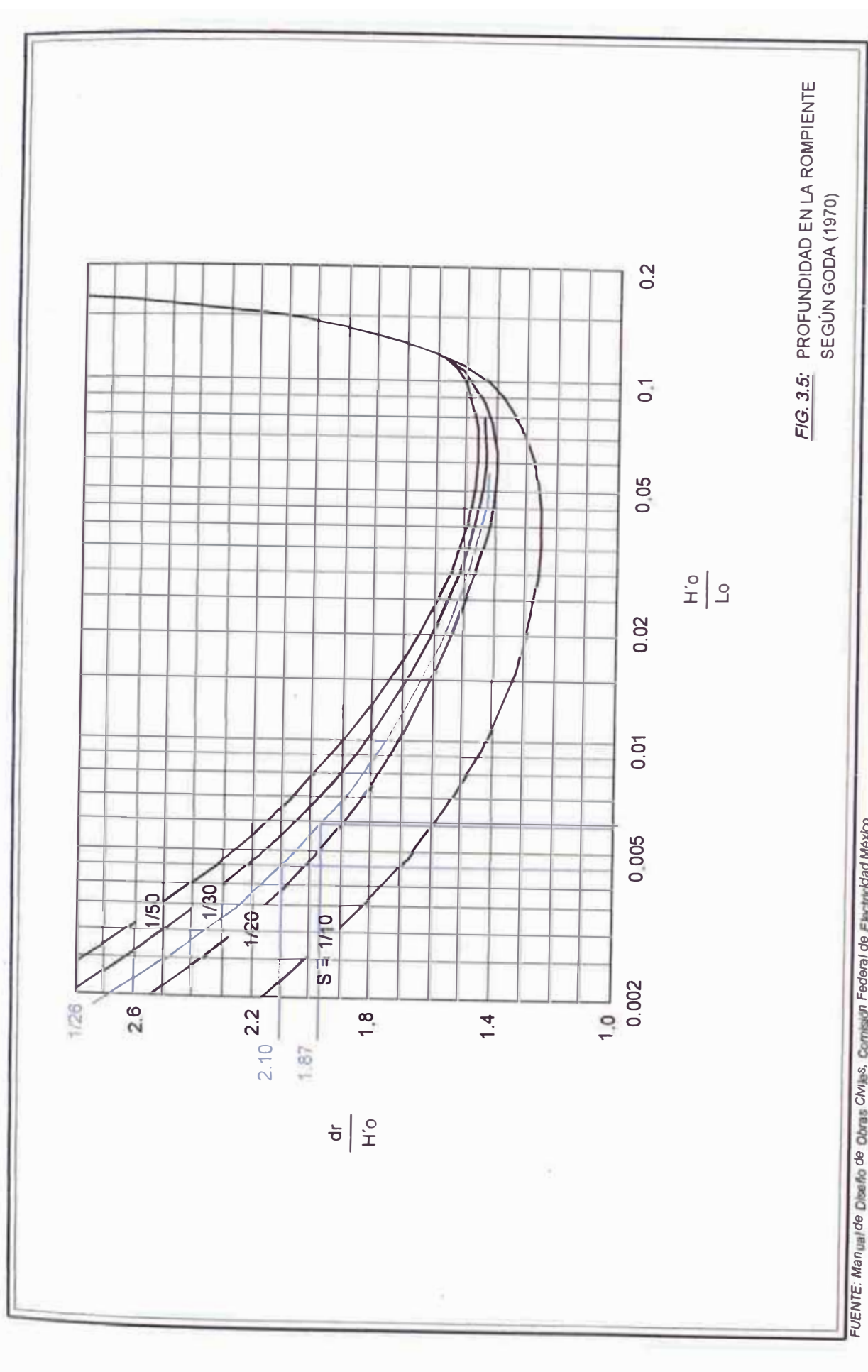


FIG. 3.5: PROFUNDIDAD EN LA ROMPIENTE  
 SEGÚN GODA (1970)

FUENTE: Manual de Diseño de Obras Civiles, Comisión Federal de Electricidad México.

$$\text{Pendiente de fondo} = 0.038 = 1/26$$

Se obtiene  $H_r/H'_o = 1.98$

$$H_r = 1.98H'_o = (1.98)(1.38) = 2.73 \text{ m}$$

Cálculo de la profundidad de la rompiente (**Ver Fig 3.5**):

$$\frac{H'_o}{L_o} = \frac{1.38}{305.76} = 0.0045$$

$$\text{Pendiente de fondo} = 0.038 = 1/26$$

Se obtiene  $d_r/H'_o = 2.10$

$$d_r = 2.10H'_o = (2.10)(1.38) = 2.90 \text{ m}$$

Si  $3.00 > 2.90$  la ola es no rompiente, con lo cual se cumple la condición. Luego la altura de ola de diseño será:

$$H = 2.73 \text{ m}$$

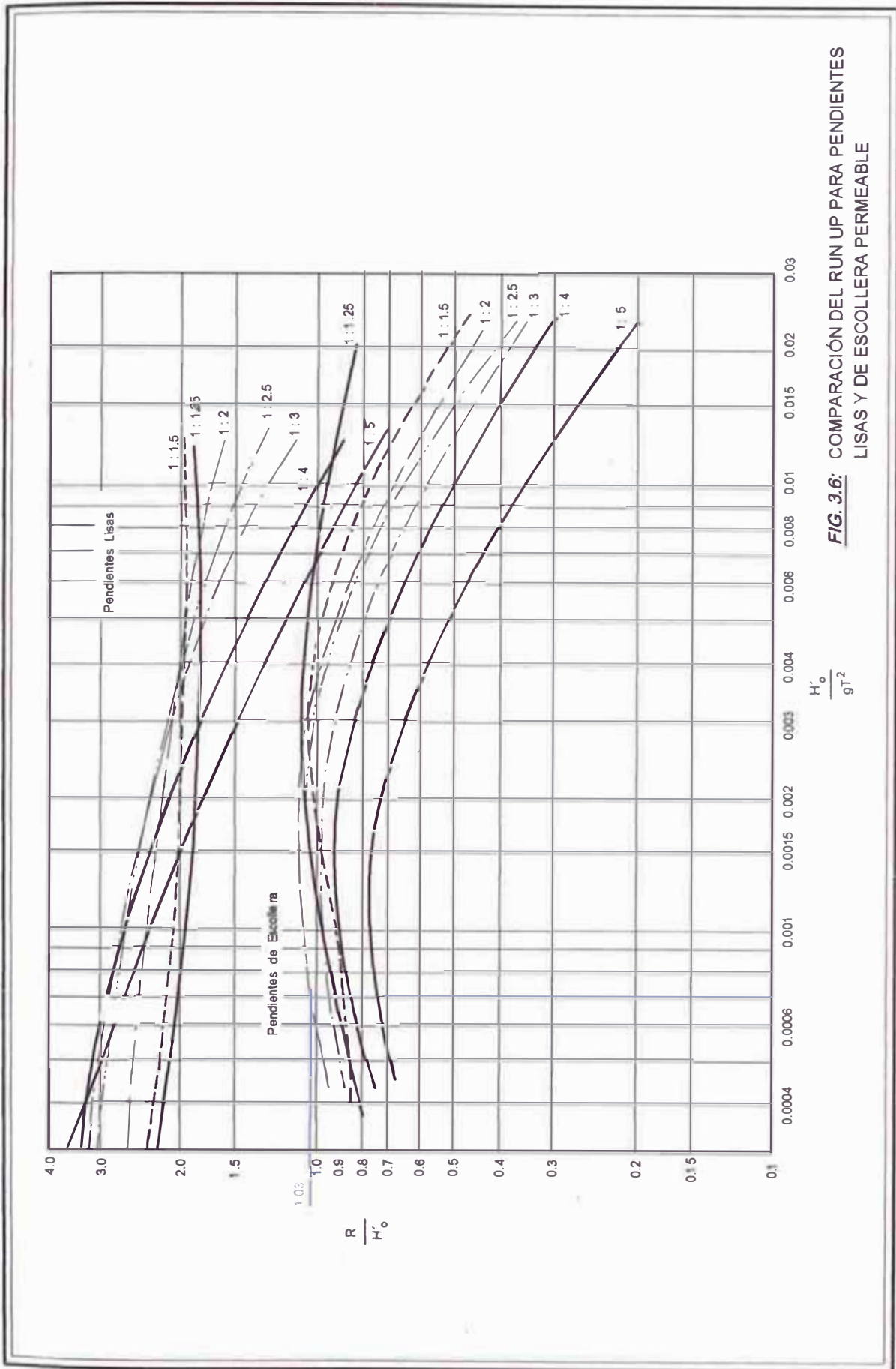
### 3.2.3 CÁLCULO DEL RUN UP

Según César Fuentes Ortiz <sup>(12)</sup>, para calcular la altura por encima del nivel de aguas tranquilas, a la cual el enrocado será construido para prevenir el sobre paso de la ola de diseño ( $H$ ), se deberá calcular primero la altura de la ola en aguas profundas sin refractar ( $H'_o$ ):

$$H'_o = \frac{1.38}{gT^2} = \frac{1.38}{(9.81)(14)^2} = 0.0007$$

Talud de la estructura es de 1:2

Con estos valores entramos a la **Fig. 3.6** y resulta que la relación de  $R_r/H'_o = 1.00$ . Entonces reemplazando valores con la relación encontrada, tenemos.



**FIG. 3.6:** COMPARACIÓN DEL RUN UP PARA PENDIENTES LISAS Y DE ESCOLLERA PERMEABLE

FUENTE: Ingeniería Portuaria, César Fuentes Ortiz.

$$\frac{R_u}{H'_o} = 1.00$$

Por tanto:

$$R_u = 1.00 H'_o = (1.00)(1.38) = 1.38 \text{ m}$$

### 3.2.4 CÁLCULO DE LA COTA SUPERIOR DEL ROMPEOLAS

$$C.S.Escollera = M.H.W. + R_u + S$$

Donde:

*C.S.Rompeolas*: Cota superior del rompeolas.

*M.H.W.* : Nivel de Marea Alta (1.20 m).

: Elevación vertical de la ola con respecto del nivel de aguas tranquilas (1.38 m).

*S* : Borde libre (0.50 m).

*FN* : Fenómeno del Niño (0.40 m).

Reemplazando valores en la expresión anterior, tenemos:

$$C.S. Rompeolas = 1.20 + 1.38 + 0.50 + 0.40 = 3.48 \text{ m}$$

Por tanto:

*C.S.Escollera* = 3.50m sobre el nivel de referencia *M.L.W.S.* (Mean Low Water Spring) promedio de bajamares de Sicigias Ordinarias ( $\pm 0.00$ ).

## 3.3 DISEÑO DEL ENROCADO

### 3.3.1 CÁLCULO DEL PESO DE LA UNIDAD DE ROCA DE CORAZA

Según César Fuentes Ortiz <sup>(12)</sup>, el peso de la unidad de coraza se calcula mediante la fórmula de Hudson:

$$W = \frac{\rho * g * H^3}{K_D * \Delta^3 * \cot \alpha}$$



Donde:

- $g$  = La aceleración de la gravedad (9.81 m/seg<sup>2</sup>).  
 $H$  = Altura de ola de diseño (2.73 m)  
 $K_D$  = Coeficiente de daños. Ver **Tabla 3.4** ( $K_D=2.5$ )  
 $\Delta$  = Densidad relativa de la unidad protectora.  
 $\alpha$  = Talud de la escollera (1:2)

$$\Delta = \frac{(\rho - \rho_w)}{\rho_w}$$

- $\rho$  = Densidad de la unidad protectora (2,700 Kg/m<sup>3</sup>).  
 $\rho_w$  = Densidad del agua del mar (1,025 Kg/m<sup>3</sup>).

$$\Delta = \frac{(2.700 - 1.025)}{1.025} = 1.63$$

Reemplazando:

$$W = \frac{(2,700 \text{ Kg/cm}^2)(9.81 \text{ m/seg}^2)(2.73)^3}{(2.5)(2.0)(1.63)^3} = 24,887.88 \text{ Newton}$$

$$W = 2,536.99 \text{ Kg}$$

$$W = 3 \text{ Ton.}$$

Por lo tanto se usarán Rocas con peso de 3 Toneladas.

### 3.3.2 CÁLCULO DEL ANCHO DE LA CRESTA

Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$B' = m' * K_{\Delta} * \left( \frac{W}{\rho * g} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

- $m'$  = Número de unidades de roca (mínimo 2).  
 $K_{\Delta}$  = Coeficiente de capa. Ver **Tabla 3.6** ( $K_{\Delta} = 1.15$ )

TABLA 3.4

VALORES SUGERIDOS POR EL C.E.R.C. DE K PARA DETERMINAR EL PESO DE LA UNIDAD DE CORAZA DAÑOS 0 - 5 %

CRITERIO DEL NO DETERIORO Y REBOZE MÍNIMO							
UNIDADES DE CORAZA	n°	COLOCACIÓN	TRONCO DEL ROMPEOLAS K <sub>D</sub>		CABEZO DEL ROMPEOLAS K <sub>D</sub>		PENDIENTE
			OLAS ROMPIENTES	OLAS NO ROMPIENTES	OLAS ROMPIENTES	OLAS NO ROMPIENTES	COTG
ROCA DE CANTERA							
Redondeada Lisa	2	Aleatoria	2.1	2.4	1.7	1.9	1.5 - 3.0
Redondeada Lisa	>3	Aleatoria	2.8	3.2	2.1	2.3	1.5 - 3.0
Angular Rugosa	1	Aleatoria **	**	2.9	**	2.3	1.5 - 3.0
			—	—	2.9	3.2	1.5
Angular Rugosa	2	Aleatoria	3.5	4.0	2.5	2.8	2.0
			—	—	2.0	2.3	3.0
Angular Rugosa	>3	Aleatoria	3.9	4.5	3.7	4.2	3
Angular Rugosa	2	Especial +	4.8	5.5	3.5	4.5	3
Tetrápodos			—	—	5.9	6.6	1.5
	2	Aleatoria	7.2	8.3	5.5	6.1	2
Cudripodos			—	—	3.7	4.1	3
			—	—	8.3	9	1.5
Tribarras	2	Aleatoria	9	10.4	7.8	8.5	2
			—	—	7	7.7	3

Fuente: Tesis de Grado "Defensa Ribereña y Rehabilitación de la Av. Costa Verde", Luis A. Portalino

\* n° es el número de unidades que componen el espesor de la coraza.

\*\* El uso de una capa simple de unidades de roca de cantera sujeta a olas rompientes no es recomendable y sólo en condiciones especiales para olas no rompientes. Cuando esta capa simple se debe usar, la colocación debe ser muy cuidadosa.

+ La colocación especial consiste en colocar el eje más largo de La roca, perpendicular a La pendiente de La estructuras.

(\*) Aplicable a pendientes comprendidas de 1:1.5 a 1.5

TABLA 3.5

H\*/H y  $K_D$  EN FUNCIÓN DEL DAÑO DE LA CORAZA Y DEL TIPO DE UNIDAD

UNIDAD		PORCENTAJE DE DAÑOS (D)						
		0 - 5	5 - 10	10 - 15	15 - 20	20 - 30	30 - 40	40 - 50
ROCA DE CANTERA (LISA)	H*/H	1.00	3.08	1.14	1.20	1.29	1.41	1.54
	$K_D$	2.40	3.00	3.60	4.10	5.10	6.70	8.70
ROCA DE CANTERA (RUGOSA)	H*/H	1.00	1.08	1.19	1.27	1.37	1.47	1.56
	$K_D$	4.00	4.90	6.60	6.00	10.00	12.40	15.00
TETRAPODO Y CUADRIPODO	H*/H	1.00	1.09	1.17	1.24	1.32	1.41	1.50
	$K_D$	8.30	10.80	13.40	15.90	19.20	23.40	27.80
TRIBARRA	H*/H	1.00	1.11	1.25	1.36	1.50	1.59	1.64
	$K_D$	10.40	14.20	19.40	26.20	35.20	41.60	45.90

Fuente: Shore Protection Manual, CERC 1973.

TABLA 3.6

COEFICIENTE DE CAPA Y DE POROSIDAD PARA VARIAS UNIDADES DE CORAZA

UNIDADES DE CORAZA	m'	COLOCACIÓN	COEFICIENTE DE CAPA $K_{\Delta}$	POROSIDAD (P) %
ROCA DE CANTERA (LISA)	2	Aleatoria	1.02	38
ROCA DE CANTERA (RUGOSA)	2	Aleatoria	1.15	37
ROCA DE CANTERA (RUGOSA)	>3	Aleatoria	1.10	40
CUBO (MODIFICADO)	2	Aleatoria	1.10	47
TETRAPODO	2	Aleatoria	1.04	50
CUADRÍPODO	2	Aleatoria	0.95	49
HEXÁPODO	2	Aleatoria	1.15	47
TRIBARRA	2	Aleatoria	1.02	54
DOLOS	2	Aleatoria	1.00	63
TRIBARRA	1	Unifrome	1.13	47
ROCA DE CANTERA	Es	Aleatoria	—	37

Fuente: Tesis de Grado "Defensa Ribereña y Rehabilitación de la Av. Costa Verde", Luis A. Portalino

- $W$  = Peso de la unidad de la coraza.  
 $\rho$  = Densidad de la unidad (2,700 Kg/m<sup>3</sup>).  
 $g$  = Aceleración de la gravedad (9.81 m/seg<sup>2</sup>).

Reemplazando valores tenemos:

$$B' = (2.00)(1.15) \left( \frac{24,887.88}{(2,700)(9.81)} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$B' = 2.25 \text{ m}$$

Por lo tanto se empleará el valor del ancho de cresta de  $B' = 3.50 \text{ m}$ .

### 3.3.3 CÁLCULO DEL ESPESOR DE LA CORAZA O CAPA PRINCIPAL Y LAS SUBCAPAS

Se calcula con la fórmula:

$$t = m' * K_{\Delta} * \left( \frac{W}{\rho * g} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

- $m'$  = Número de capas de unidades. Para la escollera  $m' = 2$ .  
 $K_{\Delta}$  = Coeficiente de capa. Ver **Tabla 3.6** ( $K_{\Delta} = 1.15$ )  
 $t$  = Espesor de la coraza, en metros.

Reemplazando valores tenemos:

$$t_1 = (2.00)(1.15) \left( \frac{24,887.88}{(2,700)(9.81)} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$t_1 = 2.25 \text{ m}$$

$$\text{Usar: } t_1 = 2.50 \text{ m}$$

Espesor de la Subcapa o Capa Secundaria

$$t_2 = m' * K_{\Delta} * \left( \frac{W_{10}}{\rho g} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$m' = 2.00, K_{\Delta} = 1.15, W10 = W/10 = 2,571.74$$

$$t_2 = (2.00)(1.15) \left( \frac{2,488.79}{(2,700)(9.81)} \right)^{1/3}$$

$$t_2 = 1.05 \text{ m}$$

$$\text{Usar } t_2 = 1.15 \text{ m}$$

### 3.3.4 CÁLCULO DEL NÚMERO DE UNIDADES DE CORAZA O CAPA PRINCIPAL

$$C = m' * K_{\Delta} * \left( 1 - \frac{P}{100} \right) * \left( \frac{\rho * g}{W} \right)^{2/3}$$

Donde:

$C$  = Número de unidades por unidad de área en la coraza.

$P$  = Porosidad de capa expresada en porcentaje (37%).

Ver **Tabla 3.6**

$m'$  = 2.00

$K_{\Delta}$  = 1.15

Reemplazando valores:

$$C = (2.00)(1.15) \left( 1 - \frac{37}{100} \right) \left[ \frac{(2,700)(9.81)}{24,887.88} \right]^{2/3}$$

$$C = 1.51$$

Por lo tanto usar  $C = 1.50 \text{ Unidades/m}^2$

Con estos valores la sección transversal del rompeolas se puede apreciar en la **Fig 3.7**

## 3.4 DISEÑO DEL MUELLE

### 3.4.1 CÁLCULO DEL PILOTE

Para el cálculo del pilote seguiremos el siguiente esquema que representa en forma abreviada la transmisión de la carga de la grúa hacia el pilote:



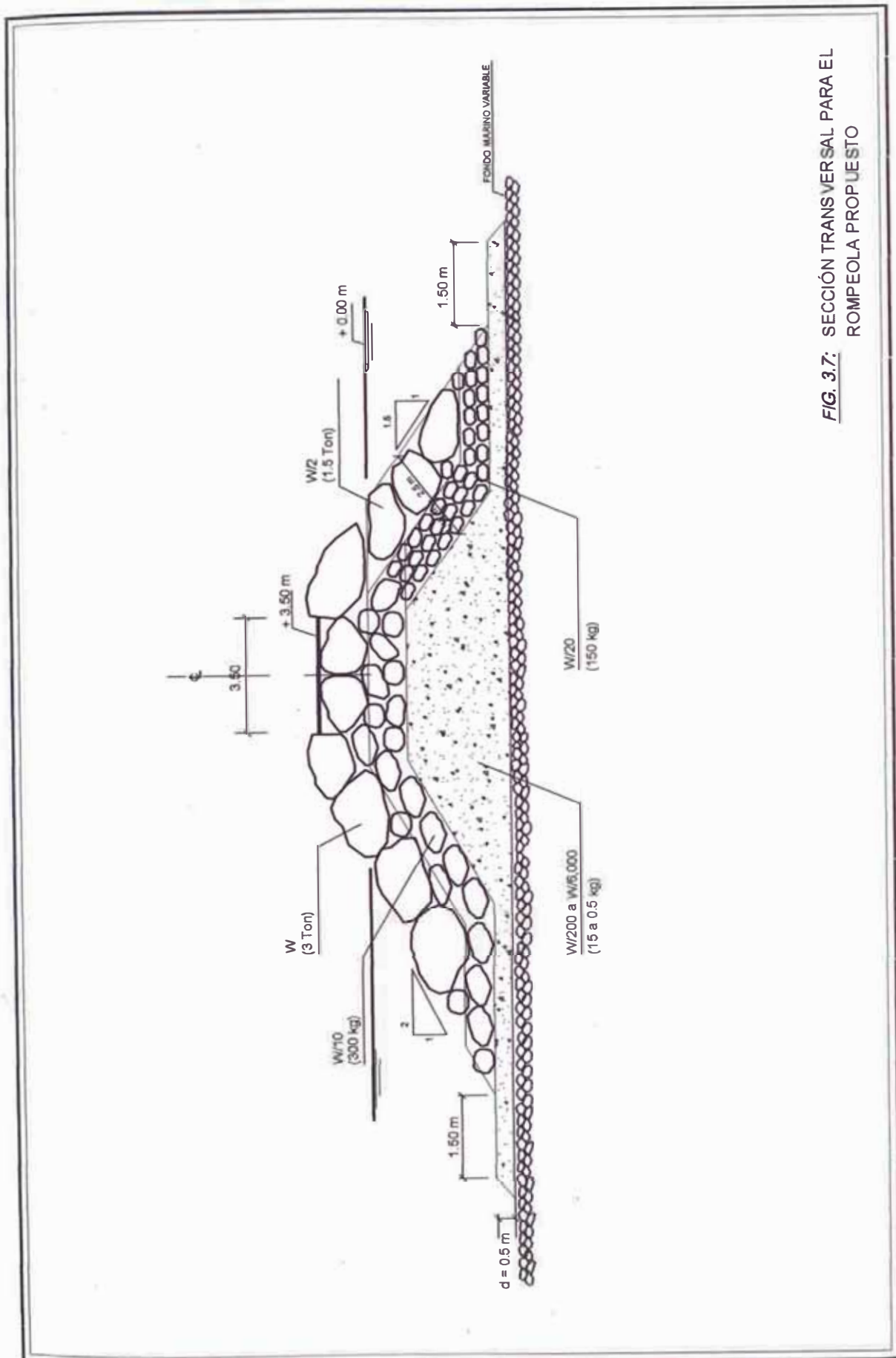
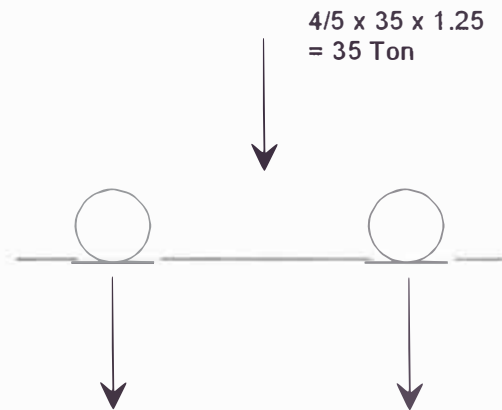


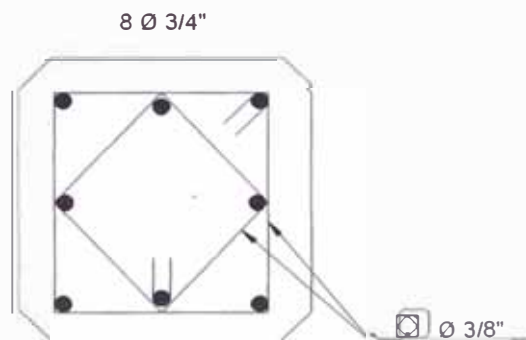
FIG. 3.7: SECCIÓN TRANSVERSAL PARA EL ROMPEOLA PROPUESTO



La carga que debe soportar el pilote es de:

$$P = \frac{35}{2} + 2 = 19.5 \text{ Ton}$$

La sección del pilote propuesta es la siguiente:



La carga última del pilote está dada por la siguiente expresión:

$$P = A_g \cdot (0.33f'_c + \rho f_s)$$

Donde:

- $A_g$  Área de la sección transversal del pilote.
- $f'_c$  Resistencia del concreto.
- $f_s$  Resistencia del acero de refuerzo.

Reemplazando los valores, tenemos:

$$P = 35 \times 35 \times (0.33 \times 350 + 0.01 \times 2100)$$

$$P = 167,212.50 \text{ kg}$$

Usando un Factor de Seguridad: FS = 2

$$P = 83,606.25 \text{ kg} \gg 19,500 \text{ kg} \quad \text{OK!!!}$$

El área de acero necesario mínimo es el siguiente:

$$A_S = 0.01 \times 35 \times 35 = 12.25 \text{ cm}^2$$

$$8\phi 3/4" \quad (22.8 \text{ cm}^2 \gg 12.25 \text{ cm}^2) \quad \text{OK!!!}$$

Analizando la capacidad de carga del pilote con los factores de suelo tenemos:

$$P = P_f + P_p$$

Para una penetración de los pilotes de 3.00 metros:

- **Capacidad de Carga por Fricción**

La capacidad de carga por fricción en pilotes viene dada por la siguiente expresión:

$$P_f = \sum A_L f_s$$

Donde:

- $A_L$  Área efectiva de la superficie lateral del pilote.  
 $A_L = \text{perímetro} \times \Delta L$
- $\Delta L$  Incremento de la longitud del pilote en cada estrato de suelo.
- $f_s$  Resistencia friccional en las caras laterales del pilote.
- $\Sigma$  Suma de las contribuciones de cada estrato de suelo.

Reemplazando valores tenemos:

$$P_f = 4 \times 35 \times 300 \times 0.35$$

$$P_f = 14,700 \text{ kg}$$

- **Capacidad de Carga por Punta**

La capacidad de carga por punta en pilotes viene dada por la siguiente expresión:

$$P_p = R_p^2 \cdot (1.3 \cdot c \cdot N_c + \gamma \cdot D_f \cdot N_q + 0.80 \cdot \gamma \cdot R_p \cdot N_\gamma)$$

Donde:

- c Cohesión.
- $\gamma$  Peso específico del pilote.
- $D_f$  Profundidad del pilote.
- $N_c, N_q, N_\gamma$  Coeficientes de capacidad de carga.

Para una arena (del fondo marino) se tiene un ángulo de fricción  $\phi = 30^\circ$ , para lo cual los coeficientes de capacidad de carga son los siguientes:

$$N_c = 37.2$$

$$N_q = 25.2$$

$$N_\gamma = 19.7$$

Con estos valores reemplazamos en la fórmula general y tenemos:

$$P_p = \left( \frac{35}{30.48 \times 2} \right)^2 \cdot \left( 1.3 \times 400 \times 37.2 + 110 \times 3 \times 3.28 \times 25.2 + 0.80 \times 110 \times \frac{35}{30.48 \times 2} \times 19.7 \right)$$

$$P_p = 15,696.31 \text{kg}$$

- **Capacidad de Carga Total**

Luego de calculada la capacidad de carga por fricción y por punta tenemos que la capacidad de carga del pilote es:

$$P = P_f + P_p$$

$$P = 14,700 + 15696.31$$

$$P = 30,396.31 \text{kg} \gg 19,500 \text{kg} \quad \text{OK!!!}$$

### 3.4.2 CÁLCULO DEL RECHAZO

Empleando la simbología adoptada en los manuales técnicos de martillo DELMAG, tenemos:

$$W = \frac{E.R}{(s + c.L)(R + Q)}$$

Donde:

- W Capacidad de carga final (Ton).
- E Energía por golpe (kg-m).  
Para martillos DELMAG  $E = 2.5R$
- R Peso del pistón (kg). El peso del pistón del martillo a usar debe ser Aproximadamente un tercio del peso del pilote.
- Q Peso del pilote a hincar (kg).

Para el cálculo de la capacidad de carga admisible se tomará en cuenta un factor de seguridad FS igual a 2.

El peso del pilote es:

$$L = 10 \text{ m}$$

$$A = 0.35 \times 0.35 = 0.1225 \text{ m}^2$$

$$\gamma_{\text{concreto}} = 2,400 \text{ kg/m}^3$$

$$Q = A.L.\gamma = 0.1225 \times 10 \times 2400$$

$$Q = 2940 \text{ kg}$$

Peso del pistón del martillo (R):

$$R = \frac{Q}{3} = \frac{2940}{3} = 980 \text{ kg}$$

Por lo tanto, escogemos un martillo Delmag Diesel D-12 cuyo peso del pistón es igual a:  $R = 1,250 \text{ kg}$

Energía por golpe (E):

$$E = 2.5R = 2.5 \times 1250 = 3125 \text{ kg-m}$$

Asumiendo un coeficiente de elasticidad  $c=0.30$  (para pilotes de concreto):

$$W = \frac{1250 \times 3125}{(s + 0.30 \times 10)(1250 + 2940)}$$

$$W = \frac{932.28}{s + 3.0}$$

Considerando un factor de seguridad  $FS=2$ , obtenemos la relación para la capacidad de carga admisible  $W_{adm}$ :

$$W_{adm} = \frac{W}{FS} = \frac{466.14}{s + 3.0}$$

El pilote deberá soportar una carga de 19.50 Ton:  $W_{adm} \geq 19.50$  Ton

$$s = \frac{466.14}{W_{adm}} - 3.0 = \frac{466.14}{19.5} - 3.0$$

$$s = 20.9 \text{ mm/golpe}$$

Normalmente el rechazo se mide por el número de golpes por cada 10 cm de penetración, entonces:

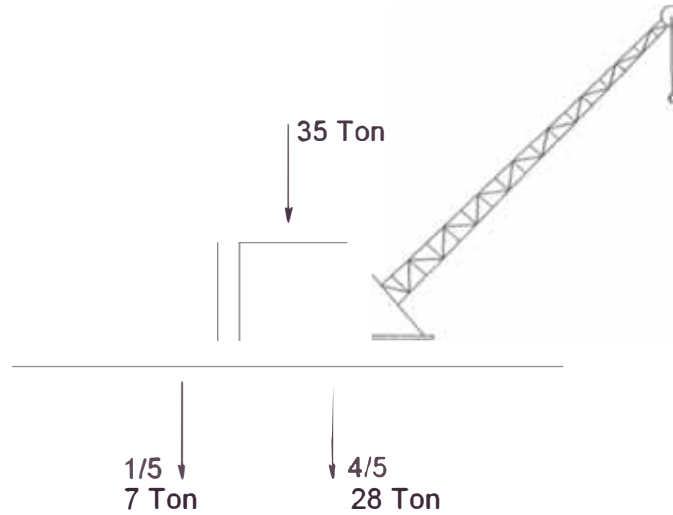
$$x = \frac{1 \text{ golpe}}{20.9 \text{ mm}} \times \frac{100 \text{ mm}}{10 \text{ cm}} = 5 \text{ golpes/10cm}$$

### 3.4.3 CÁLCULO APROXIMADO DE LA VIGA LONGITUDINAL

Para el cálculo del pilote y la viga longitudinal debemos tener en cuenta que la máxima carga que soportará el muelle es el tránsito de la grúa de 35 toneladas que se empleará en la construcción, ya que la finalidad de la obra es contar con un muelle de uso netamente turístico que no demandará el tránsito de vehículos pesados.

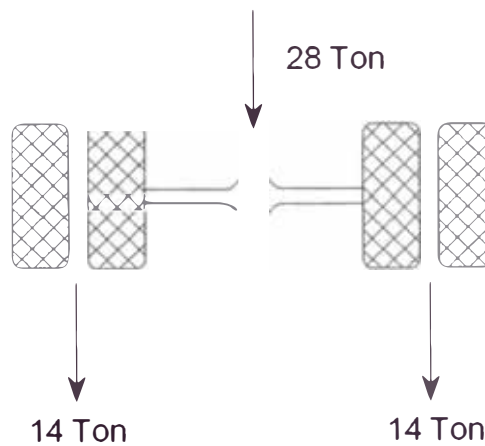
Procedemos a realizar el análisis del tránsito de una grúa de 35 toneladas, cuyas cargas se distribuyen entre sus ejes de acuerdo al siguiente esquema:



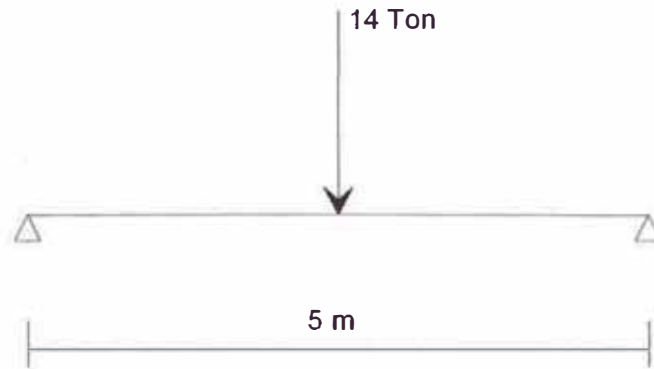


Como se observa el eje doble trasero recibe los 4/5 del total del peso de la grúa, lo que significa que la carga más desfavorable en este caso corresponde a 28 toneladas.

Ahora debemos proceder a analizar este eje doble trasero de acuerdo al siguiente esquema:



La carga de 28 toneladas finalmente se divide en dos partes iguales correspondiendo 14 toneladas de carga en cada huella, este dato se empleará en el diseño de la viga longitudinal.



Luego el momento máximo se dará cuando la máxima carga se encuentre en el centro de la losa, para lo cual se usará la siguiente expresión:

$$M = \frac{P.L}{4} \quad (\text{Momento Máximo})$$

$$M = \frac{14 \times 5}{4} = 17.5 \text{ Ton}$$

Considerando 25% de impacto:

$$M_{\max} = \frac{14 \times 5 \times 1.25}{4} = 21.875 \text{ Ton}$$

El peralte necesario para la nervadura es:

$$d = \sqrt{\frac{21.875 \times 100000}{16.5 \times 25}} = 72.82 \text{ cm}$$

$$H = 72.82 + 5 = 77.82 \text{ cm}$$

Usar  $H = 80 \text{ cm}$

Luego el área de acero necesario para soportar las cargas es:

$$A_s = \frac{M}{f_s \cdot j \cdot d} = \frac{21.875 \times 100000}{2100 \times 0.866 \times 72.82}$$

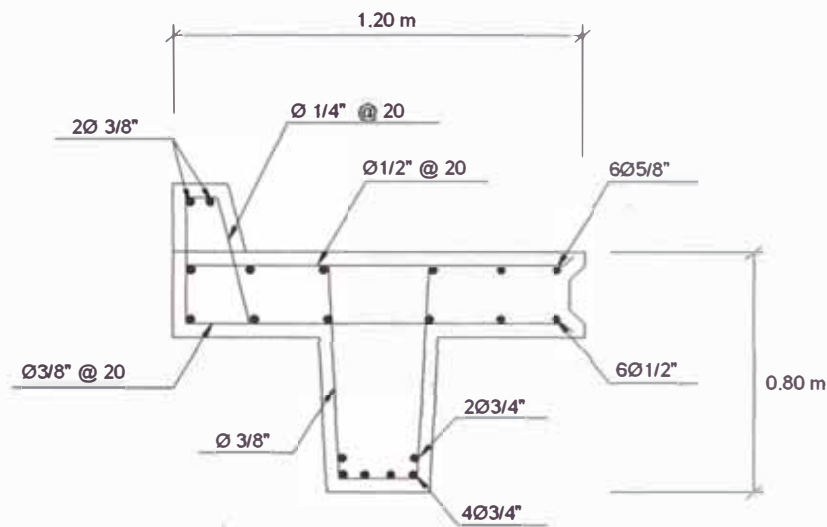
$$A_s = 16.52 \text{ cm}^2$$

Usamos:  $6\emptyset 3/4" = 17.10 \text{ cm}^2 \gg 16.52 \text{ cm}^2$  OK!!!

Considerando momentos negativos de similar magnitud a los positivos, tenemos:

$$A_s^{(-)} = 16.52 \text{ cm}^2$$

Usamos:  $6\emptyset 5/8" + 6\emptyset 1/2" = 19.48 \text{ cm}^2 \gg 16.52 \text{ cm}^2$  OK!!!



### 3.4.4 CÁLCULO APROXIMADO DE LA VIGA TRANSVERSAL

Las vigas transversales al ser nexos con los pilotes para la conformación de los pórticos del muelle, solo requiere de acero mínimo de refuerzo, el cual viene dado por:

$$A_{Smin} \geq \frac{14.1}{f_y} . b . t$$

Reemplazando valores tenemos:

$$A_{Smin} = \frac{14.1}{4200} \times 40 \times 70 = 9.40 \text{ cm}^2$$

Estamos empleando:

$$4\emptyset 5/8" + 2\emptyset 3/4" = 13.62 \text{ cm}^2 \gg 8.8125 \text{ cm}^2 \quad \text{OK!!!!}$$

## CAPÍTULO IV: PROCESO CONSTRUCTIVO

### 4.1 DEL ESPIGÓN

#### 4.1.1 HABILITACIÓN DE LA ROCA DE CANTERA

Las características de la Roca deben ser las apropiadas de acuerdo al diseño efectuado.

La explotación de la cantera debe realizarse utilizando técnicas y experiencia del personal calificado en esta materia, tanto en la perforación de macizos rocosos como del uso de explosivos, para luego poder obtener rocas con las dimensiones requeridas que demanda el diseño de la obra.

Se deben realizar diversas perforaciones de pozos verticales de 10, 15 y 20 m de profundidad, en la parte superior de los macizos rocosos de la cantera, para los cuales se deben emplear compresoras, martillos neumáticos, barrenos hexagonales y explosivos; cabe recalcar que la profundidad de estos pozos deben estar en función a la altura de los macizos rocosos a ser estallados.

La llegada hasta las profundidades mencionadas deben realizarse en forma escalonada, de la manera siguiente: se harán taladros en la roca (agujeros verticales) de 2 o 3 pies de profundidad (**Ver Foto 4.1**), dependiendo de la longitud del barreno, luego se procederá a la colocación de explosivos en el



**Foto 4.1: Colocación de explosivos en cantera.**

Fuente: Obra Construcción de la Segunda Prolongación el Molón de Salaverry – Terminal Portuario de Salaverry – ENAPU.

fondo de los taladros, previa limpieza, se apretará cartucho por cartucho con un atacador de madera, adicionando los fulminantes, guías explosivas, guías de seguridad, nitrato de amonio (anfo) en pequeñas cantidades y tierra cernida, para posteriormente detonarlos, abriendo agujeros más grandes para que una persona pueda operar con el martillo y así profundizarlo, enseguida se repetirá la misma operación anterior y así sucesivamente hasta lograr la profundidad requerida.

Así mismo se deberán efectuar perforaciones en el sentido longitudinal como una especie de túneles horizontales cortos de 4, 6 y 8 metros de longitud en los talones de los macizos rocosos, debido a que para completar el corte hasta el pie de talud y así poder seguir avanzando hacia adentro, se tiene que volar los talones después de la voladura de los macizos rocosos. **(Ver Foto 4.2).**



**Foto 4.2: Trabajos de perforación para voladura de roca.**

*Fuente: Obra Construcción de la Segunda Prolongación el Molón de Salaverry – Terminal Portuario de Salaverry – ENAPU.*

Teniendo listos los pozos, se procederá a la colocación y cargado de explosivos en grandes cantidades en el fondo de los respectivos pozos, previa limpieza de los mismos. Para ello se utilizarán cartuchos de dinamita por paquetes, fulminantes, cordones detonadores, guías de seguridad, nitrato de amonio (anfo) por bolsas y tierra cernida; quedando así expedito para la detonación. La

cantidad de explosivos que se utilizarán en cada pozo para la voladura de los macizos rocosos, tiene que ser el adecuado para obtener los bloques de roca en volumen y peso, necesarios para la conformación del rocaplén.

Luego de la detonación, se procedió a extraer los bloques de roca con la ayuda de la maquinaria pesada, para posteriormente acumularlos en la cancha libre de la cantera. Para las rocas de coraza y sub capa se empleará grúas de 35 y 60 Ton tipo pluma de celosía (izaje de la roca) y para el resto de las rocas se puede emplear el tractor de orugas (acarreo) y/o el cargador frontal. **(Ver Foto 4.3).**

Vista del material obtenido con la primera voladura



**Foto 4.3: Vista de material obtenido de la voladura.**

*Fuente: Obra Construcción de la Segunda Prolongación el Molón de Salaverry – Terminal Portuario de Salaverry – ENAPU.*

El paso siguiente es la cubicación de los bloques de roca, las cuales deben presentar formas irregulares, sanas, duras y sin exfoliaciones o daños estructurales, tal como lo indiquen las especificaciones técnicas; para posteriormente seleccionarlos en cancha, quedará así habilitado los diferentes tipos de roca que se emplearán en la obra.

Por último se procederá al carguío y transporte de las rocas a la obra de acuerdo a la Programación de trabajo, para ello se emplearán volquetes de 12 m<sup>3</sup> y cargadores frontales.



## **MAQUINARIA – EQUIPO / HERRAMIENTAS**

- Grúa de 35 y 60 Ton; para el izaje de rocas de coraza y coronación tanto en el seleccionamiento como en el carguío.
- Cargador frontal sobre llantas 125-155 HP (3 Yd<sup>3</sup>); utilizado para el seleccionamiento y carguío de roca de base y coraza.
- Tractor de oruga 190-240 HP; limpieza de la cancha, acarreo y conformación de rellenos y accesos.
- Jaiva; izaje y carguío de material de filtro.
- Volquete de 12 m<sup>3</sup>; transporte del material seleccionado a la obra.
- Herramientas manuales; como: barretas, estrobos, cables acerados, etc.

### **4.1.2 MOVILIZACIÓN DE ROCAS**

Previo a la construcción de la obra, se ejecutará el replanteo de la obra donde se verificará el trazo de los ejes, los cuales debieron estar lo más cerca posible a los taludes, debido más que todo a que no se deben tener exceso de materiales durante la construcción; esta actividad es muy importante e indispensable por la constante variación que presentan las playas, así como los aumentos de daños (lo mínimo) que hay en algunas zonas de los taludes.

## **MAQUINARIA – EQUIPO / HERRAMIENTAS**

- Grúa de 35 y 60 Ton; para el izaje de rocas de coraza y coronación en el carguío.
- Cargador frontal sobre llantas 125-155 HP (3 Yd<sup>3</sup>); utilizado para el seleccionamiento y carguío de roca de base y coraza.
- Jaiva; izaje y carguío de material de filtro.
- Volquete de 12 m<sup>3</sup>; transporte del material seleccionado a la obra.
- Herramientas manuales; como: estrobos, cables acerados, etc.

### **4.1.3 CIMENTACIÓN**

Esta primera fase comprende la construcción de la cimentación desde el nivel de fondo hasta la proyección de la superficie de playa.

El filtro y roca de base, es construido por volteo directo y acomodado con la ayuda del tractor y/o uso de la jaiva. De acuerdo a las especificaciones técnicas

sería válido colocarlos mezclados y simultáneamente, conservando la proporción en volumen de cada uno de los materiales indicado por las dimensiones de las secciones típicas y respetando las inclinaciones y espesores del proyecto.

Las rocas de coraza se acomodan sobre la capa de roca de base, haciéndolo desde el pie del talud hacia la coronación, respetando el espesor de diseño y las capas que conforman esta parte de la estructura. Esta labor será desarrollada con la ayuda de grúas de 35 y 60 Ton y estrobos para el izaje y acomodo.

El avance de la colocación del filtro mas roca base no se debe adelantar más de 5 metros de la construcción de la coraza, para evitar pérdidas excesivas de material por la acción del oleaje y mareas.

Al culminar una jornada de labor por frente de trabajo, la construcción de la escollera debe quedar protegida con rocas de coraza al extremo de la misma de esta manera se evita que el material de menor tamaño sea arrastrada por el mar.

#### **MAQUINARIA – EQUIPO / HERRAMIENTAS**

- Grúa de 35 y 60 Ton; para el izaje de rocas de coraza y coronación.
- Cargador frontal sobre llantas 125-155 HP (3 Yd<sup>3</sup>); utilizado para el carguío de roca de base y coraza.
- Jaiva; izaje y carguío de material de filtro.
- Herramientas manuales; como: estrobos, cables acerados, etc.

#### **4.1.4 MEDIO CUERPO DE ESCOLLERA**

Esta segunda fase comprenderá la construcción desde el nivel de playa hasta el nivel + 3.00m. apriori se evacúa todo material extraño o rocas sueltas de pequeñas dimensiones (restos de la escollera anterior), que interfieren con la operación.

Previo al inicio de la colocación de la roca de base más filtro se debe verificar el talud y su conformación de acuerdo a lo especificado. La colocación de la mezcla será con autorización de la supervisión, pero respetando las proporciones en volumen de acuerdo al diseño y especificaciones del Proyecto, logrando en consecuencia una base más sólida para la coraza. Este trabajo se realizará por volteo en sentido hacia a coronación. **(Ver Foto 4.4)**. Se verificará en todo momento el talud indicado en las secciones típicas y su posición de

entrabe natural. Idénticamente a la primer fase el avance de la construcción de la coraza será siguiendo el avance de la capa de roca de base mas filtro en una distancia no mayor de 5 metros para protegerla del oleaje. Las unidades de coraza serán acomodadas en el talud usando la grúa de 35 y 60 Ton y estrobos para el izaje. En ningún momento serán colocadas por caída libre directamente del camión.

Terminada una jornada diaria o ante cualquier paralización temporal la estructura quedará protegida con rocas de coraza al extremo de la misma. De esta manera se evita que el material de menor tamaño sea arrastrado por el mar.

### **MAQUINARIA – EQUIPO / HERRAMIENTAS**

- Grúa de 35 y 60 Ton; para el izaje de rocas de coraza y coronación.
- Cargador frontal sobre llantas 125-155 HP (3 Yd<sup>3</sup>); utilizado para el carguío de roca de base y coraza.
- Jaiva; izaje y carguío de material de filtro.
- Herramientas manuales; como: estrobos, cables acerados, etc.



**Foto 4.4: Colocación de roca en cuerpo de escollera.**  
Fuente: *Obra Construcción de la Segunda Prolongación el Molón de Salaverry – Terminal Portuario de Salaverry – ENAPU.*

#### 4.1.5 CORONACIÓN Y RELLENO

Comprende la construcción de la coronación, generalmente termina con dos rocas en posición de entrabe natural.

Paralelamente a la construcción, se rectifican los taludes o plataformas que hayan sufrido asentamientos o pérdida de rocas. La labor de izaje y acomodo de las unidades de la coronación se realiza con la grúa de 60 Ton. **(Ver Foto 4.5)**.

La construcción de una escollera marginal en fases permite una estabilidad física gradual por peso propio, ya que por su naturaleza de ser una estructura flexible, los asentamientos y reajustes favorecen la estabilidad.

Los rellenos de las zonas socavadas se efectúan posterior al enrocado total hasta completar las dimensiones especificadas de pista, berma y pendiente de talud.

Los rellenos son construidos en capas de 25 cm con una humedad correspondiente al óptimo contenido de humedad. Esta labor es efectuada por una motoniveladora y compactado por un rodillo liso vibratorio de 12 Toneladas. Donde no se pueda usar el equipo normal de compactación, se usa un apisonador mecánico portable y en este caso se compacta en capas no mayores a 15 cm.

#### **MAQUINARIA – EQUIPO / HERRAMIENTAS**

- Grúa de 35 y 60 Ton; para el izaje de rocas de coraza y coronación.
- Jaiva; para colocar el material de filtro en buena mezcla con la roca de base.
- Tractor de grúa 190 – 240 HP; para el acomodo del material mezclado de filtro y roca de base, así como la conformación del talud.
- Volquete de 12 m<sup>3</sup>; transporte de material rocoso.
- Herramientas manuales; como barretas, estrobos, cables acerados, etc.
- Motoniveladora 125 HP; perfilado de rellenos.
- Camión sistema 122 HP; transporte y riego de agua para controlar la humedad óptima del relleno.
- Rodillo liso vibratorio autopropulsado 10 – 12 Ton, 101 – 135 HP; para la compactación de los rellenos.



**Foto 4.5: Colocación de roca en coronación.**

*Fuente: Obra Construcción de la Segunda Prolongación el Molón de Salaverry – Terminal Portuario de Salaverry – ENAPU.*

## 4.2 DEL MUELLE

Hoy en día, para la ejecución de un proyecto de gran envergadura, es preciso poseer una eficaz técnica que se traduzca en ahorro de costo y tiempo. Es así que desde hace mucho tiempo se han venido creando varios sistemas que ayuden a la toma de decisiones, los mismos que conduzcan al emprendimiento de acciones con gran probabilidad de éxito.

Con el propósito de brindar información práctica concerniente a la planificación y programación de una obra portuaria, se ha visto conveniente presentar el proceso constructivo de un muelle pequeño, debido a que en este tipo de obras el proceso constructivo es repetitivo.

La construcción de un muelle se inicia con la conformación de un muro de arranque que permita el tránsito inicial del equipo de hincado, generalmente este muro de arranque puede ser en base a un muro de contención de concreto armado, un enrocado o un muro de tablestacas de concreto armado, según la disposición del muelle y los cálculos realizados.

Luego de conformado el muro de arranque se inicia el proceso en sí de la construcción del muelle empezando con los trabajos de trazo, replanteo y nivelación a medida que se avanza en la construcción, se deberán definir de acuerdo a los planos, la ubicación de los pilotes, en base a esa ubicación se

deberá colocar las guías de hincado o “castillos” que como su nombre lo indican servirán de guía para la correcta ubicación e hincado del pilotes. **(Ver Foto 5.6)**.

Con la ubicación se procede al transporte e izaje del pilote para su colocación en el lugar correspondiente, teniendo cuidado de mantener la horizontalidad necesaria para una buena distribución de las cargas.

Colocado el pilote en su ubicación correcta se inicia el proceso de hincado del pilote haciendo uso del martillo, el tipo y características del martillo deberá calcularse con las respectivas fórmulas de hinca.

Luego de clavados los dos pilotes correspondientes al eje, se “descabezarán” los pilotes, es decir se picará el concreto en una longitud aproximada de un metro dejando al descubierto los aceros de refuerzo, los mismos que se amarrarán con los aceros de la cajuela de la viga transversal.



**Foto 5.6: Hincado de pilotes verticales.**

*Fuente: Obra Construcción del Muelle Embarcadero  
Ventanilla – TASA.*

Se procede al transporte, izaje y colocación de la viga transversal sobre los pilotes previamente clavados, teniendo cuidado en todo momento de los niveles establecidos en los planos correspondientes, se llenará la cajuela de las vigas



con concreto para tener la perfecta unión entre el pilote y la viga transversal y conformar así el pórtico.

Ya conformado el pórtico se procede al transporte, izaje y colocación de las losas nervadas, teniendo el mismo cuidado que en la viga transversal de los respectivos niveles, el proceso antes mencionado se repite para los demás ejes del muelle.

A medida que se va avanzando con la construcción en forma paralela se puede proceder al vaciado de la losa central chata de concreto armado.

Los demás elementos tales como sardineles, postes de iluminación se colocarán posteriores a la construcción del muelle en sí.

### ***Equipo de Hincado***

Como en toda construcción de muelles, el equipo básico de hincado estará constituido por una grúa, los martillos y el sistema de guiado para los pilotes.

- *Grúa*, que posea una capacidad de carga de 35 Toneladas a 3.60 metros, utilizando una pluma de 15 metros. La elección de dicha longitud se atribuye a los 5 metros de separación entre ejes o cerchas, distancia necesaria para lograr el menor número de estaciones de la grúa, así como un avance rápido y seguro en la construcción.
- *Martillo*, el hincado de pilotes se realizará con martillos Diesel Delmag D-22 y D-30.
- *Sistema de guiado*, con el objeto de garantizar que los pilotes permanezcan en su posición original; es decir, que no pierdan la verticalidad, inclinación o posición que indica el proyecto, durante la faena de hincado, se deberá instalar un sistema de guías metálicas.

Los pilotes verticales utilizarán como apoyo del sistema de guiado una "torre o castillo" construido con tubos de acero estándar y perfiles de acero, mientras el sistema de guiado estará constituido por marcos construidos con tubos de acero estándar que facilitará la colocación de los pilotes verticales.

El acceso al puente se realizará mediante una rampa (enrocado), los pilotes necesitarán de un sistema de guías con el fin de evitar la alteración de su posición original durante la faena de hincado.

Para la colocación de pilotes en el primer eje se emplearán los instrumentos topográficos para encontrar la verticalidad de los pilotes, y se procederá a la colocación del castillo con ayuda de la grúa y la guía de hincado. Quedando listo el sistema de guiado de pilotes, la grúa transportará y colocará verticalmente el pilote en la guía.

Una vez colocado correctamente el pilote en el punto de hincado y manteniendo la verticalidad del mismo, se empieza el clavado hasta la profundidad y rechazo requeridos. La cabeza del pilote deberá ser protegida del impacto del martillo mediante un amortiguador, que deberá mantenerse en buenas condiciones, dicho amortiguador de impacto puede ser de madera chontaquiro o algarrobo.

Es indispensable llevar un registro completo de la faena de hincado de cada pilote, indicándose el número de golpes por cada 10 cm de penetración a lo largo del hincado. La operación de hinca se paralizará al alcanzar el rechazo y empotramiento requeridos.

### **4.3 DE LAS OBRAS COMPLEMENTARIAS**

Lo referente a las obras complementarias abarca básicamente la construcción de la plataforma de embarque, la cual está compuesta de pilotes a base de rieles metálicos los cuales previo trazo y replanteo en obra se procede a su hincado no sin antes verificar las características de los rieles.

El hincado de los rieles se harán con masa de caída hasta la profundidad especificada en los cálculos estructurales, las uniones entre rieles deben hacerse por medio de soldadura.

Luego del proceso de colocación de los elementos de cimentación viene el tablero de madera el cual será fijado por medio de pernos de sujeción galvanizados

La fijación de la pluma de izaje se hará igualmente por medio de pernos de sujeción.

## CAPÍTULO V: PRESUPUESTO Y PROGRAMACIÓN

### 5.1 PRESUPUESTO DE OBRA

A continuación se presenta un resumen porcentual del costo total de la obra (**Ver Presupuesto Resumen**), así como el desagregado del Presupuesto Total de la Obra por partidas (**Ver Presupuesto**), del presupuesto resumen podemos mencionar que la partida correspondiente a la escollera abarca el mayor porcentaje (59.83%) del total del presupuesto, siendo esta una partida crítica para el desarrollo de la obra.

Del mismo modo la partida con menor incidencia es la correspondiente al suministro y colocación del pescante en la zona del embarcadero que sólo significa el 0.82% del presupuesto total.

### 5.2 CRONOGRAMA DE OBRA

El cronograma de obra (**Ver Diagrama Gantt**), nos presenta las etapas en las que se debería desarrollar la obra, de este diagrama observamos que las partidas críticas vienen dadas por la construcción del puente y de la escollera.

Se debe tener en cuenta que en este tipo de obras portuarias, la programación ejecutada al realizar el proyecto, casi siempre difiere del cronograma real de obra por diferentes factores que se van presentando durante la ejecución del mismo, por ello el cronograma presentado nos idealiza una aproximación cercana al tiempo de ejecución del proyecto, que en este tipo de obras portuarias casi siempre es inferior al tiempo real de ejecución.

910  
TECNIISTA: VICTOR RAUL SOTO PAEZ

Página 1

**Presupuesto**

Presupuesto 0819003 TESIS DE GRADO: DEFENSA DEL MALECÓN FIGUEREDO, LA PUNTA - CALLAO  
Subpresupuesto 001 PRESUPUESTO DE OBRA  
Código MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE LA PUNTA Costo al 15/06/2000  
Lugar CALLAO - CALLAO - LA PUNTA

Item	Descripción	Und.	Metrado	Procto S/.	Parcial S/.
1.00	<b>OBRAS PRELIMINARES</b>				31,456.02
1.1.0	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPO	cl B	1.00	15,610.21	15,610.21
1.2.0	CASETA DE GUADIANIA Y ALMACEN	M2	60.00	69.00	4,140.00
1.3.0	TRAZO Y REPLANTEO	mon	3.00	964.13	2,892.39
1.4.0	LOSA PARA PREFABRICADOS	m2	120.00	42.31	5,079.60
1.5.0	LIMPIEZA DURANTE LA OBRA	MES	3.00	1,244.60	3,733.80
2.00	<b>CAMINO DE ACCESO</b>				53,045.01
2.1.0	TERRAPLENES CON MATERIAL ROCOSO	m3	420.56	112.93	47,306.46
2.2.0	LOSA DE CONCRETO 210KG/CM2 E=20CM	m2	19.60	282.62	5,539.35
3.00	<b>PUENTE</b>				
3.1.0	<b>PILOTES DE CONCRETO ARMADO</b>				91,004.02
3.1.1	FABRICACION DE PILOTES DE CONCRETO DE 0.35x0.35 m	M	189.60	196.66	37,267.78
3.1.2	TRANSPORTE Y MANIPULEO DE PILOTES	und	18.00	539.40	9,709.20
3.1.3	HINGADO DE PILOTES DE CONCRETO ARMADO	und	18.00	2,041.26	36,742.68
3.1.4	DESCABEZADO DE PILOTES DE CONCRETO ARMADO	und	18.00	409.07	7,345.20
3.2.0	<b>VIGAS TRANSVERSALES PREFABRICADAS</b>				39,202.97
3.2.1	FABRICACION DE VIGAS TRANSVERSALES	und	9.00	1,700.31	15,374.97
3.2.2	TRANSPORTE DE VIGAS TRANSVERSALES	und	9.00	686.04	6,095.36
3.2.3	COLOCACION DE VIGAS TRANSVERSALES	und	9.00	1,790.79	16,189.11
3.2.4	CONCRETO F'c=210 KG/CM2 (vacuada in situ union viga transversal piloto)	M3	3.75	334.68	1,254.68
3.2.5	CONCRETO CICLOPEO F'c=210 Kg/cm2 + 30% PM (PARA APOYOS DEL PUENTE)	M3	2.68	216.04	578.45
3.3.0	<b>LOSAS PREFABRICADAS NERVADAS</b>				83,500.00
3.3.1	FABRICACION DE LOSAS NERVADAS	und	20.00	2,502.00	50,046.00
3.3.2	TRANSPORTE DE LOSAS NERVADAS	und	20.00	818.00	16,376.00
3.3.3	COLOCACION DE LOSAS NERVADAS	und	20.00	1,363.00	27,078.00
3.4.0	<b>LOSAS PREFABRICADAS CRATAS</b>				27,185.90
3.4.1	FABRICACION DE LOSAS CHATAS T1	und	10.00	986.29	9,562.90
3.4.2	TRANSPORTE DE LOSAS CHATAS T1	und	10.00	409.40	4,094.00
3.4.3	COLOCACION DE LOSAS CHATAS T1	und	10.00	1,363.00	13,529.00
3.6.0	<b>JUNTAS TRANSVERSALES</b>				5,052.35
3.6.1	CONCRETO F'c=210 KG/CM2 VACIADA IN SITU EN VIGAS TRANSVERSALES	M	58.10	104.32	6,062.35
3.8.0	<b>JUNTAS LONGITUDINALES</b>				6,174.72
3.8.1	CONCRETO F'c=210 KG/CM2 VACIADA IN SITU EN VIGAS LONGITUDINALES	M	60.00	64.32	6,174.72
3.7.0	<b>SARDINELES PERIMETRALES</b>				1,681.00
3.7.1	SARDINEL DE CONCRETO DE F'c=140KG/CM2	M	100.00	16.81	1,681.00
4.00	<b>ESCOLLERA</b>				513,410.16
4.1.0	SUMINISTRO DE ROCA PARA ESCOLLERA	M3	4,152.00	124.48	517,439.74
4.3.0	COLOCACION DE ROCA DE 0.5 A 1.6 KO (NÚCLEO DE ESCOLLERA)	M3	1,232.40	29.05	35,704.02
4.2.0	COLOCACION DE ROCA DE 3 Y 1.6 TON	m3	2,920.40	39.99	117,006.40
6.00	<b>EMBARCADERO</b>				29,709.08
6.1.0	SUMINISTRO DE RIFLES DE 60 LB Y D2	M	140.00	75.00	10,500.00
6.2.0	HINGADO DE PILOTE (INCL. MOV. Y POSIC. PLANTILLA)	und	8.00	1,046.04	14,707.52

S10  
TESISTA: VICTOR RAÚL SOTO PÁEZ

Página 2

### Presupuesto

Presupuesto 0819003 TESIS DE GRADO: DEFENSA DEL MALECÓN FIGUEREDO, LA PUNTA - CALLAO  
Subpresupuesto 001 PRESUPUESTO DE OBRA  
Cliente MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE LA PUNTA  
Lugar CALLAO - CALLAO - LA PUNTA  
Costo al 15/06/2006

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
5.3.0	SUMINISTRO E INSTALACION DEL TABLERO DEL EMBARCADERO INC. PREPARACION DE TABLAS DE MADERA 12" x 2.5"x7" Y PERNOS DE FIJACION	P2	233.33	7.08	1,651.98
5.4.0	CONCRETO F' C=175 KG/CM2 PARA ESCALERAS	M3	0.66	272.52	179.86
5.5.0	BARANDAS DE MADERA	m	3.60	85.66	308.38
5.6.0	DEFENSAS DEL EMBARCADERO DE LLANTAS Y MADERA	GLB	1.00	2,302.14	2,302.14
6.0.0	<b>PESCANTE</b>				2,003.45
6.1.0	PESCANTE FIJO	GLB	1.00	2,003.45	2,003.45
	<b>COSTO DIRECTO</b>				894,386.78
	<b>GASTOS GENERALES (11.00% C.D.)</b>				98,382.55
	<b>UTILIDAD (6.00% C.D.)</b>				53,663.21
	<b>SUB TOTAL</b>				1,046,432.54
	<b>I.G.V. (18.00%)</b>				188,357.86
	<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>				1,234,790.40

SON : UN MILLON DOSCIENTOS TRENTICUATRO MIL SETECIENTOS NOVENTA Y ~~40~~100 NUEVOS SOLES

S10

Página :

1

TESISTA: VICTOR RAUL SOTO PAEZ

### Presupuesto Resumen

Obra 819003 TESIS DE GRADO: DEFENSA DEL MALECÓN FIGUEREDO, LA PUNTA - CALLAO

Fórmula 01 PRESUPUESTO RESUMEN

Cliente MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE LA PUNTA

Departamento CALLAO Provincia CALLAO

Tarjeta 0001

Costo al

15/06/2006

Distrito LA PUNTA

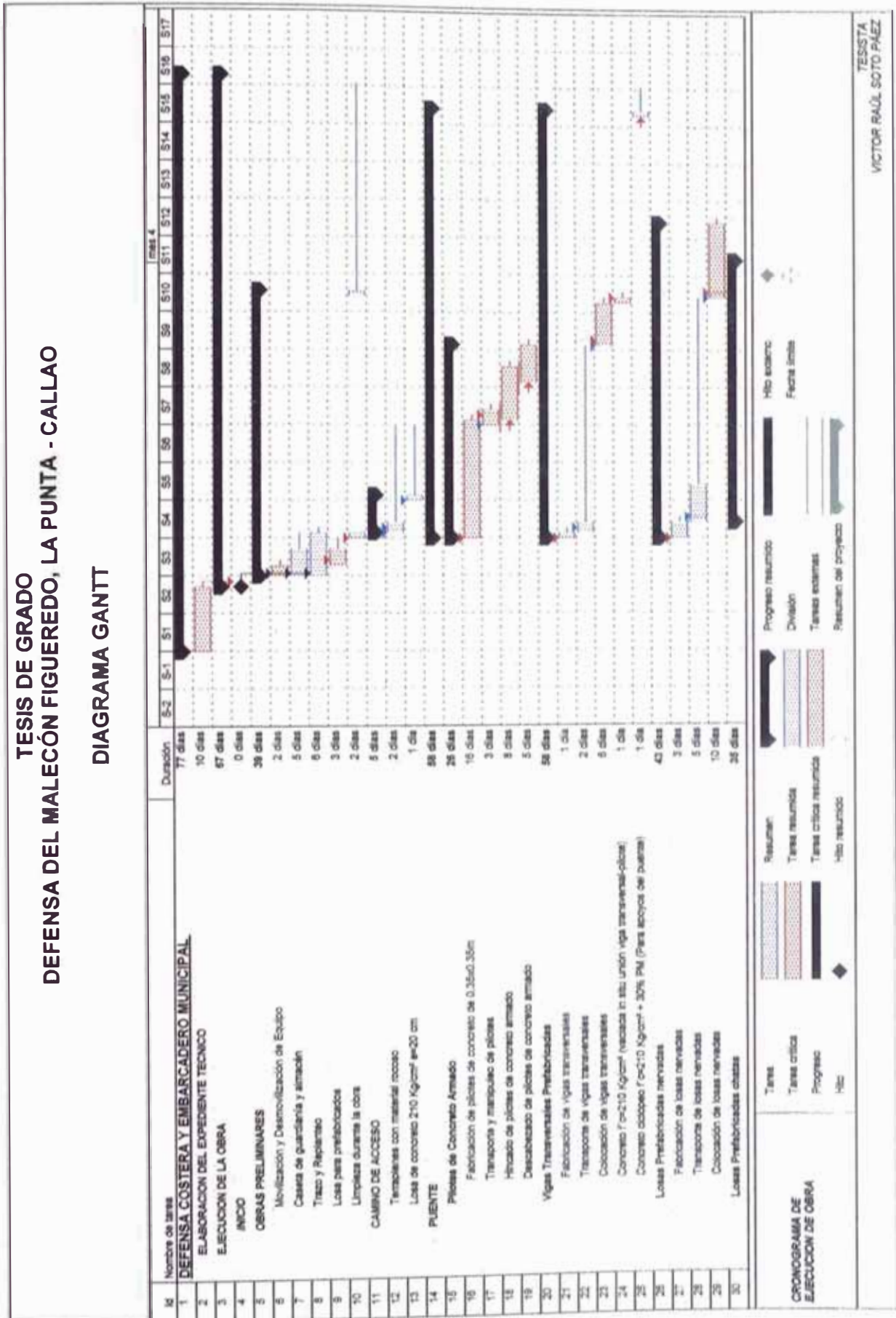
Item	Descripción	Precio	% Incidencia	% Acumulado
1.00	OBRAS PRELIMINARES	31,456.02	3.52	3.52
2.00	CAMINO DE ACCESO	53,045.81	5.93	9.45
3.00	PUENTE	264,741.46	29.60	39.05
4.00	ESCOLLERA	513,410.16	57.40	96.45
5.00	EMBARCADERO	29,709.88	3.32	99.77
6.00	PESCANTE	2,003.45	0.22	100.00
	COSTO DIRECTO	894,386.78		
	GASTOS GENERALES ( 11% )	98,382.55		
	UTILIDAD ( 6% )	53,663.21		
	SUB - TOTAL	1,046,432.54		
	I.G.V. ( 19% )	188,357.86		
	TOTAL PRESUPUESTO	1,234,790.40		

SON : UN MILLÓN DOSCIENTOS TREINTICUATRO MIL SETECIENTOS NOVENTA Y 40/100 NUEVOS SOLES



TESIS DE GRADO  
DEFENSA DEL MALECÓN FIGUEREDO, LA PUNTA - CALLAO

DIAGRAMA GANTT



TESISTA  
VICTOR RAÚL SOTO PÁEZ



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

El litoral peruano es un perfil de la costa que no presenta muchos accidentes naturales y las pocas bahías orientadas al comercio naviero y turístico, demandan de una fuerte inversión para su defensa de costas y protección de estructuras contra el ataque de las olas sobre todo las provenientes de las zonas de tormenta de la costa de Chile. El diseño y construcción de estas estructuras de defensa, protección y avenamiento como rompeolas, espigones, defensas ribereñas de escollera, son una alternativa técnico económico para nuestra realidad y desarrollo del país.

Aunque no se pueda decir cual es el mejor tipo de rompeolas, ya que esta decisión depende de muchos factores, en nuestro medio se recomienda el rompeolas de escolleras (enrocado) debido a sus ventajas: es muy durable, funciona aún cuando está seriamente dañado, utiliza solo roca de cantera, y además porque se tiene cierta experiencia con este tipo de rompeolas (Callao, Matarani, Salaverry, etc).

Luego de desarrollada la presente tesis podemos concluir lo siguiente:

- Se ha empleado la distribución de oleaje en aguas profundas medido en Salaverry durante cuatro años.
- Se considera que el oleaje en aguas profundas es el mismo en toda la costa peruana debido a que tienen la misma fuente de generación. Con la distribución de olas disponibles en aguas profundas frente a la zona del proyecto, se ha llevado el oleaje de aguas profundas hacia la zona del proyecto (Malecón Figueredo).
- El diseño de las diferentes estructuras confortantes del proyecto se ha realizado siguiendo las normas del CERC (Coastal Engineering Research Center), las normas ACI (American Concrete Institute), y las normas ambientales contenidas en el TUPAM (Tecto Único de Procedimientos Administrativos de la Marina de Guerra del Perú).

- La altura de ola de diseño adoptada es de  $H = 2.73$  m.
- El sistema de protección adoptado consiste en un rompeolas de enrocado con un ancho de la cresta de 3.0 m, y taludes de 1:1.5 en la zona protegida y 1:2 en la zona frente al mar. El enrocado está conformado de dos capas, la primera capa o coraza de roca de 3 toneladas y espesor de 2.50m, y la segunda capa de roca de 300 kg y 1.15 m de espesor.
- Se ha diseñado el muelle para soportar el tránsito de una grúa de 35 toneladas, equipo a usar para la construcción del muelle. Los elementos del muelle son prefabricados de concreto armado, conformados por dos pilotes de sección cuadrada sobre los cuales se encuentra una viga transversal formando un pórtico que recibe a las losas nervadas.
- El presupuesto necesario para llevar a cabo el proyecto asciende a 1,234,790.40 nuevos soles, de los cuales la partida de enrocado es la de mayor incidencia, 57.40% del costo total de la obra, la partida del muelle presenta una incidencia del 29.60%.
- Se ha previsto un plazo de ejecución de la obra de 67 días calendario.

## RECOMENDACIONES

- En toda obra para Defensa se debe siempre prever durante la etapa constructiva, la colocación de una cama de roca grande en el lecho marino, sobre todo al pie de los taludes que están expuestos al embate de las olas, para que de esta manera se vaya asentando en forma gradual y que posteriormente el cuerpo de la estructura rocosa no sufra un asentamiento total, de lo contrario se produciría el volteo de dicha estructura por efecto de la acción erosiva de las olas en el talud, debido al impacto de la ola y su resaca.
- Lo que se requiere dentro de la Ingeniería de Costas es de tener un estudio Hidro Oceanográfico definitivo y confiable, el cual debe ser realizado con Profesionales y Técnicos especialistas en Mediciones Hidrográficas y Oceanográficas, con el fin de establecer los parámetros óptimos a ser

desarrollado en el diseño para que así no existan Obras Portuarias y de Defensa sobredimensionadas o subdimensionadas.

- Para mejorar la información disponible de las condiciones naturales es recomendable efectuar un levantamiento topográfico y batimétrico con mayor detalles de la zona del proyecto, efectuar mediciones de oleaje a fin de establecer nuevos parámetros de altura y periodo de olas en la zona del proyecto.
- El transporte de sedimentos es un tema complejo que ha sido desarrollado de forma simple con una fórmula empírica para tener una idea básica de la cantidad probable de sedimentos en la zona, para tener una mejor idea al respecto se recomienda realizar un estudio más exhaustivo al respecto con modelamiento hidráulico de ser necesario.
- Para el proyecto de ejecución de obra se recomienda desarrollar a nivel definitivo el Estudio de Impacto Ambiental.
- Luego de concluidos los trabajos siempre es necesario un monitoreo periódico de las características físicas, químicas y biológicas de la zona marina comprendida por el proyecto y de la estructura de los Rompeolas. El monitoreo puede ser mensual con el fin de poder determinar la existencia de cambios en el medio acuático.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alva Hurtado Jorge E. / Huamán Egoavil Carlos E. / Meneses Loja Jorge F., "Microzonificación Sísmica de La Punta y el Callao", Revista El Ingeniero Civil, Nº 124, Páginas 6 al 12, Lima, Agosto – Setiembre 2002.
2. Bruun Per, "Port Engineering", Volumen 1: Harbor Planning, Breakwaters, and Marine Terminals, Gulf Publishing Company, Fourth Edition, Texas, Febrero 1993.
3. Celis Paucar Enrique Anselmo, "Defensa del Malecón Pardo, La Punta – Callao", Tesis de Grado de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, 1995.
4. Coastal Engineering Research Center Department of the Army Corps of Engineers, "Shore Protection Manual, Vol, I", U.S. Army, 1973.
5. Construcciones Civiles y Portuarias S.A., "Estudio Hidro Oceanográfico: Defensa Ribereña y Embarcadero Municipal de la Zona Costera de la Playa Cantolao (Malecón Figueredo) La Punta – Callao", Marzo 2003.
6. Def Quinn Alonzo, "Design and Construction of Ports and Marine Structures", McGraw Hill, Londres, 1961.
7. Del Moral Carro Rafael / Berenguer Pérez José María, "Obras Marítimas, Tomo II", Litografía Danona, Madrid, 1980.
8. Department of the Army, U.S., Army Corps of Engineers, "Coastal Engineering Manual, Engineering and Design", Washington DC, Julio 2003.
9. Dirección de Hidrografía y Navegación, "Derrotero de la Costa del Perú", Volumen II, Tercera Edición, Callao, 2001.
10. Dirección de Hidrografía y Navegación, "Tabla de Mareas 2003", Callao, 2003.



11. Empresa Nacional de Puertos, "Estudio Básico del Oleaje en Salaverry", Proyecto de Controlamar con Cooperación Holandesa, Abril 1977.
12. Fuentes Ortiz César, "Ingeniería Portuaria", Coper Editores, Primera Edición, Lima, 2001.
13. Macdonel Martínez Guillermo / Pindter Vega Julio / Herreron de la Torre Luis / Pizá Ortiz Juan / López Gutiérrez Héctor, "Ingeniería Marítima y Portuaria", Alfaomega Grupo Editor, México, 1999.
14. Mendoza Zubiato Carlos Alberto, "Diseño de Rompeolas de Escolleras", Tesis de Grado de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, 1992.
15. Página Web de la Dirección de Hidrografía y Navegación  
[www.dhn.mil.pe](http://www.dhn.mil.pe)
16. Páginas Web del Instituto Geográfico Nacional  
[www.ign.gob.pe](http://www.ign.gob.pe)
17. Página Web de Transporte de sedimentos:  
[www.geocities.com/gsilvam/sedimentos.htm](http://www.geocities.com/gsilvam/sedimentos.htm)
18. Portalino Segundo Luis Alberto, "Defensa Ribereña y Rehabilitación de la Av. Costa Verde", Tesis de Grado de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, 1996.
19. Programa Google Earth, Versión 3.0, Noviembre 2005.
20. Programa Microsoft Encarta 2005, Biblioteca de Consulta.