



**UNIVERSIDAD VILLA RICA**

---

**ESTUDIOS INCORPORADOS A LA UNIVERSIDAD  
NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**“DISEÑO Y CÁLCULO DE OBRA DE PROTECCIÓN  
MARÍTIMA TIPO ESCOLLERA.”**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**INGENIERO CIVIL**

**PRESENTA:**

**ANTONIO AUGUSTO GONZÁLEZ CRUZ**

**Director de Tesis  
ING. JUAN SISQUELLA MORANTE**

**Revisor de Tesis  
ING. JOSÉ VLADIMIRO SALAZAR SIQUEIROS**

**BOCA DEL RÍO, VER.**

**2012**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## **AGRADECIMIENTOS:**

“Enseñarás a volar,  
pero no volarán tu vuelo.  
Enseñarás a soñar,  
pero no soñarán tu sueño.  
Enseñarás a vivir,  
pero no vivirán tu vida.  
Sin embargo...  
en cada vuelo,  
en cada vida,  
en cada sueño,  
perdurará siempre la huella  
del camino enseñado.”

**Gracias Padres.**

**INDICE**

	<b>Pág</b>
<b>INTRODUCCION</b>	1
<b>CAPITULO I</b>	
<b>GENERALIDADES Y DEFINICIONES</b>	
1.1 Antecedentes.	3
1.2 Área de estudio.	4
1.3 Ubicación.	5
1.4 Vientos.	6
1.5 Huracanes	6
1.6 Temperatura media anual	7
1.7 Mareas.	7
1.8 Corrientes costeras.	7
1.9 Corriente Litoral.	8
1.10 Oleaje.	9
1.11 Batimetría Marina.	10
1.12Tipos de obras de protección.	11
1.13 Cubípedo: Nuevo elemento para la construcción de diques.	15
1.14 Productos alternativos.	18
1.15 Selección del tipo de obra más adecuado a la zona de trabajo.	22

**CAPITULO 2****ROMPEOLAS Y ESCOLLERAS**

2.1 Rompeolas.	23
2.1.1 Núcleo	24
2.1.2 Primera capa inferior.	24
2.1.3 La capa principal de protección.	25
2.2 Materiales empleados.	25
2.3 Método Constructivo.	25
2.4 Espigones.	27
2.4.1 Definición.	27
2.4.2 Clasificación de los espigones de acuerdo a su orientación.	27
2.4.3 Clasificación de los espigones de acuerdo a su forma.	28
2.5 Espigones permeables e Impermeables.	30
2.5.1 Espigones permeables.	30
2.5.2 Espigones impermeables.	31
2.6 Materiales a usar de acuerdo al tipo de obra escogido.	32
2.7 Objetivos y funciones.	33
2.7.1 Objetivos.	33
2.7.2 Funciones.	33
2.8 Mantenimiento.	33

**CAPITULO 3****DISEÑO ESTRUCTURAL**

3.1 Localización Geográfica	34
3.2 Zona de influencia del proyecto.	35
3.3 Definición del clima de oleaje extremal.	36
3.4 Definición de la altura de la ola de diseño en aguas profundas.	37
3.5 Calculo de la sobreelevación del nivel del mar por marea de tormenta.	37
3.6 Proyecto ejecutivo de las escolleras.	42
3.6.1 Oleaje de diseño.	42
3.6.2 Diseño estructural.	43
3.6.2.1 Profundidad de rompiente (db) y altura de rompiente (Hb)	43
3.6.2.2. Talud de la estructura.	43
3.6.2.3. Tamaño de la roca.	44
3.6.2.4 Factor de reducción.	47
3.6.2.5 Ancho de la cresta	47
3.6.2.6. Número de elementos.	48
3.6.2.7. Estabilidad de la estructura.	48
3.6.2.8. Reducción de la altura de la cresta.	49
3.6.2.9. Coeficiente de transmisión.	49
3.6.2.10 Coeficiente de reflexión.	50
3.6.2.11. Run-up / Run-down.	50
3.7. Diseño funcional.	51
3.7.1 Sedimentos en la playa.	51
3.7.2 Formación de salientes y tómbolos.	51

**CAPITULO IV****MÉTODO CONSTRUCTIVO**

4. Métodos Constructivos y aspectos generales.	53
4.1 Métodos Constructivos- ejecución núcleo-	53
4.2 Métodos Constructivos- Controles de la Construcción-	53
4.3 Métodos Constructivos- Tolerancia-	54
4.4 Perfiles.	54
4. 5 Métodos Constructivos- Tipos-	57
4.5.1 Métodos Constructivos Vía Marítima.	58
4.5.1.1 Métodos Constructivos Pontonas.	59
4.6. Maquinaria a usar.	59

**CAPITULO V****PROYECTO EJECUTIVO**

5.1 Planos	64
5.2. Especificaciones particulares.	69
5.2.1 Especificaciones particulares 1.	69
5.2.2 Especificaciones particulares 2.	70
5.2.3 Especificaciones particulares 3.	72
5.2.4 Especificaciones particulares 4.	73
5.2.5 Especificaciones particulares 5.	74
5.2.6 Especificaciones particulares 6.	75
5.2.7 Especificaciones particulares 7.	76
5.3 Programa de obra.	78
5.4 Catalogo de conceptos y presupuesto.	80

**CAPITULO VI**

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

83

**BIBLIOGRAFIA**

<b>Lista de Figuras</b>	<b>Pág.</b>
Fig 1. Estado de Veracruz.	5
Fig. 2 Escolleras.	11
Fig. 3 Escollera conformada por tetrápodos.	12
Fig. 4 X-bloc.	13
Fig. 5 Coreloc.	14
Fig.6 Accropode.	15
Fig.7 Vista 3D del CUBÍPODO.	16
Fig. 8 Esquema del efecto separador contra el adoquinamiento que producen las protuberancias entre los Cubípodos.	17
Fig. 9 Vista en perspectiva de una zona de manto principal constituido por Cubípodos, donde se observa la penetración de las protuberancias del elemento en la capa inferior.	17
Fig.10 Bloque Antifer.	19
Fig.11 Akmon .	19
Fig. 12 Bolsacreto.	20
Fig.13 A-jack.	21
Fig.14 Tipo de elementos de concreto utilizados.	21
Fig. 15 Descarga de material producto de banco de materiales.	22
Fig. 16 Perfil estructural de rompeolas.	23
Fig. 17 Clasificación de los espigones de acuerdo a su orientación .	27
Fig.18 Clasificación de los espigones de acuerdo a su forma.	28
Fig. 19 Efecto de los espigones rectos sobre la línea de costa.	28
Fig. 20 Partes de un espigón.	29
Fig. 21 Diferentes formas de espigones.	32
Fig. 22 Ubicación Geográfica.	34
Fig. 23 Zona de influencia.	35
Fig.24 Grafica para el cálculo de la altura de ola rompiente.	41
Fig.25 Grafica para el cálculo de ascenso del nivel del mar por el efecto de la presión atmosférica.	41
Fig. 26 Grafica para determinar el valor del factor de corrección FM	42
Fig. 27 Ubicación del rompeolas a diseñar.	52
Fig.28 Colocación de núcleo de escollera.	54
Fig. 29 Colocación de capa inferior.	55
Fig.30 Colocación de la capa principal de protección.	55
Fig.31 Excavadora hidráulica colocando la escollera sobre la cresta.	56
Fig.32 La misma máquina dando marcha atrás y cerrando la cresta al mismo tiempo.	56
Fig.33 Taladro marino	57
Fig.34 Tipos de vertido de material en suelo marítimo	58
Fig.35 Tipo de gangil.	59

<b>Lista de Figuras</b>	<b>Pág.</b>
Fig.36 Pontonas.	59
Fig.37 Grúa de desplazamiento sobre orugas.	60
Fig.38 Accesorios de izado.	61
Fig.39 Excavadora de cuchara de arrastre.	61
Fig.40 Excavadora hidráulica.	62
Fig.41 Bulldozer	63
Fig.42 Perfil del morro	64
Fig.43 Perfil del cuerpo III	65
Fig.44 Perfil del cuerpo II	66
Fig.45 Perfil del cuerpo I	67
Fig.46 Prolongacion de la escollera	68
Fig.47 Escollera definitiva	77

<b>Lista de Tablas</b>	<b>Pág.</b>
Tabla 1 Altura de diseño y período pico en aguas profundas para diferentes periodos de retorno.	36
Tabla 2 Distribución de las de altura de ola en aguas profundas contra distintos período de retorno	36
Tabla 3 Altura de Ola para diseño	42
Tabla 4 Longitud del rompeolas norte	43
Tabla 5 Altura de diseño para el morro	45
Tabla 6 Altura de ola de diseño para los tramos de coraza	45
Tabla 7 Tamaño de rocas lado exterior e interior	46

## INTRODUCCION

Las costas son uno de los ambientes más dinámicos en nuestro planeta, que a simple vista parecen lugares tranquilos y placenteros para vivir, sin embargo, se ven afectadas por diversos factores ambientales como el oleaje, mareas, vientos, tormentas, lluvias y deslizamientos, que continuamente modifican su forma (Appendini y Fisher, 1998). Debido a la belleza de sus paisajes y el importante papel económico que representa este recurso natural, se ha dado una ocupación importante de la costa en décadas recientes, principalmente como zonas de uso habitacional, de recreación e industrial.

Uno de los principales problemas de vivir en la costa es la erosión debido a la acción del oleaje. Actualmente de los 125 países con costas un 80 % sufre problemas de erosión, que resultan en pérdidas económicas considerables (ONU, 1982). Por ello desde hace algún tiempo los métodos para protección de la costa en contra del oleaje han llamado la atención de los ingenieros oceánicos (Rosati, 1990). Las alternativas de solución a los problemas de erosión son, principalmente; la construcción de muros, revestimientos y gabiones para la protección de la infraestructura, la implementación de estructuras como rompeolas separados de la costa y espigones para reducir la tasa de erosión en una zona determinada de la playa y el uso combinado de alguna de estas dos modalidades con relleno artificial para restaurar y mantener el ancho de la playa para recreación y protección (Shankar *et al.*, 1996).

La implementación de estructuras como los rompeolas separados de la costa para estabilización y protección en contra de la erosión ha dado buenos resultados en países como Estados Unidos, Japón, España, Holanda e Italia, entre otros ya que son generalmente estructuras paralelas a la costa y su función es la de reducir la energía del oleaje, ya sea por disipación, reflexión y/o difracción (Chasten, *et al.*, 1993).

Una de las obras más utilizadas a nivel mundial para disminuir la erosión costera han sido los muros, pero este tipo de solución solo beneficia un área limitada, ya que evita el aporte de sedimento del cantil a la playa e incrementa la erosión en las zonas adyacentes. A diferencia de los muros que son construidos únicamente en una porción de la costa los rompeolas separados pueden ser construidos como una sola estructura o en serie.

Una sola estructura es usada para proteger una área localizada de la costa, mientras que una serie de estructuras se diseña para proteger una área extensa de la línea de costa. Existe una enorme variedad de tipos y formas de rompeolas separados de la costa (Dattatri, *et al.*, 1978; Shankar, *et al.*; 1996, Fisher, *et al.*, 1997), estos se construyen a una cierta distancia de la línea de costa y no están conectados a ella por ningún tipo de extensión como los rompeolas convencionales

Una variedad de este tipo de obras son los rompeolas sumergidos que son barreras artificiales cuya cresta o corona queda bajo el nivel de reposo del agua o al ras del mismo. Este tipo de rompeolas disipa la energía de las olas que llegan a él, ocasionando que estas rompan, de la energía que no alcanza a mitigarse una porción se refleja y el resto se transmite en la dirección del avance de las olas ocasionando una menor altura en el oleaje que se forma después de la estructura (García-Flores, 1988).

Los rompeolas de corona baja suelen ser los más apropiados para la estabilización de la línea de costa, debido a que gran parte de la energía de la ola se transmite a través de la estructura pasando por arriba de esta, causando depositación del material transportado, formando tómbolos o salientes (Chasten, *et al.*, 1993).

Las ventajas que presentan estas obras de protección son: disminuyen la erosión, proporcionan áreas protegidas para recreación, no obstruyen la vista y el espacio que forman las rocas utilizadas crea un área de refugio a una gran diversidad de peces (Yoshioka, *et al.*, 1993; Nakayama, *et al.*, 1993), además de que pueden ser utilizados en conjunto con otras estructuras en la creación de playas y marinas (Ahrens y Cox, 1990). En su construcción se reduce la cantidad de material utilizado ya que el tamaño de la roca es el mismo, por lo que la construcción y mantenimiento generalmente es menos costoso.

## CAPITULO I

### GENERALIDADES Y DEFINICIONES

#### 1.1 ANTECEDENTES

En nuestro país es muy común el problema de ríos jóvenes caracterizados por su gran dinamismo e inestabilidad, lo que trae como consecuencia que no tengan un cauce estable y definido. Esta circunstancia dificulta el aprovechamiento fluvial y el de sus áreas próximas.

Una de las formas de corregir esta situación es mediante la construcción de defensas ribereñas. Éstas pueden ser continuas o discontinuas. Los espigones son sistemas de defensas discontinuas que, en determinados ríos y circunstancias, resultan muy convenientes para la fijación de márgenes

Las investigaciones realizadas en obras de protección a nivel internacional son variadas, sin embargo, en México estas han sido pocas. Uno de los primeros trabajos es de García-Flores (1988), en el realiza un estudio experimental sobre rompeolas sumergidos en un tanque de olas en el que evalúa el comportamiento de dos prototipos rígidos (sección transversal trapezoidal) y uno impermeable (sección transversal rectangular).

Ahrens y Cox (1990), en su trabajo examinan el desempeño óptimo de los rompeolas sumergidos en base a resultados obtenidos del oleaje que es transmitido, la disipación de energía y la respuesta de la costa, concluyendo que debido a que los rompeolas sumergidos no tienen núcleo son hidrodinámicamente más estables y menos vulnerables a daños por el oleaje. Mansard (1990), aplica un modelo físico a los rompeolas de roca convencional, concluyendo que para el diseño de estos se debe considerar la estabilidad hidráulica así como la integridad estructural de las rocas de la coraza.

Chasten, *et al.*, (1993), elabora una guía ingenieril para el diseño de rompeolas separados de la costa como estructuras de estabilización. Proponen métodos de construcción, monitoreo y evaluación de otras técnicas, en base a los rompeolas separados de la costa existentes en las costas de Estados Unidos, Japón, España, Dinamarca y Singapur.

Thompson, *et al.*, (1995), desarrollan un manual de procedimientos generales para proyectos en la zona costera. En este no solo incluye aspectos ingenieriles, si no también los requerimientos gubernamentales, ecológicos y políticos que las obras de este tipo exigen.

Existen otros trabajos donde la forma convencional de los rompeolas sumergidos es modificada, Shankar, *et al.*, (1996), utiliza una placa sumergida horizontalmente la cual crea una zona de turbulencia que disipa la energía de la ola al romper sobre la placa, ocasionando que la energía que se trasmite sea mínima; y Fischer, *et al.*, (1997) utilizó un rompeolas que consiste en un cilindro que yace horizontal y oscila según el tren de olas que arriba a él absorbiendo una fracción considerable de la energía de estas. McCormick, (1997), realiza un proyecto de protección y restauración de marismas mediante el uso combinado de un rompeolas sumergido, relleno producto de dragado y colocación de pastos marinos para la Bahía de Chesapeake en el Golfo de México.

En México, fue hasta los años treinta de este siglo pasado cuando se hicieron los primeros estudios para determinar las medidas, cantidades y formas adecuadas para la construcción de las obras de protección (rompeolas, escolleras y espigones), tomando en cuenta los factores que los pudieran afectar. La mayoría de las obras de protección consisten actualmente en capas de roca natural de diferentes tamaños, protegidas por una o más capas de roca de un peso mayor, colocadas con precisión para obtener secciones de forma trapecial cuyo diseño y dimensionamiento se basa en la fórmula de Hudson modificada (Ruiz, *et al.*, 1999).

## 1.2 AREA DE ESTUDIO:

El Estado de Veracruz se encuentra ubicado a los 22°28' - 17°09' de latitud norte; y a los 93°36' - 98°39' de longitud oeste (INEGI, 2000). Colinda al norte con Tamaulipas y el Golfo de México; al este con el Golfo de México, al sur con Chiapas y Oaxaca; al oeste con Puebla, Hidalgo y San Luis Potosí (INEGI, 2000). Tiene una superficie de 72,410 Km<sup>2</sup>, lo que representa el 3.7% de la superficie del país (10 lugar a nivel Nacional) (INEGI, 1999). De esta superficie 2/3 son planicies y lomeríos y 1/3 son montañas (UV-IIEES, 1995).

Existen muchas definiciones y concepciones de lo que es la zona costera. En este estudio la zona costera se define como "La zona costera abarca desde el límite marino de la plataforma continental y mar territorial, hacia el mar, hasta los límites geopolíticos de los municipios que tienen litoral o están contiguos, tierra adentro. Constituye una amplia y heterogénea región que mantiene intensas interacciones físicas, biológicas y socioeconómicas donde ocurre un dinámico intercambio de energía y materiales entre ecosistemas terrestre, marinos y la atmósfera". Incluye a los 28 municipios de Veracruz que cuentan con frente litoral y estos son. Pueblo Viejo, Ozulama, Tántima, Tamalín, Tamiahua, Tuxpan, Cazones de Herrera, Papantla, Tecolutla, Martínez de la Torre, San Rafael, Nautla, Vega de Alatorre, Alto Lucero, Actopán, Ursulo Galván, La Antigua, Veracruz, Boca del Río, Alvarado, Lerdo Tejada, Angel. R. Cabada Catemaco, San Andrés Tuxtla, Mecayapan, Tatahuicapan, Pajapan, Coatzacoalcos y Agua Dulce.

La acotación territorial que se hace de la zona costera responde más a una necesidad práctica de manejo, lo cual no nos impide reconocer que existe también un estrecho vínculo con lo que sucede en la cuenca media y alta.

### 1.3 UBICACIÓN:

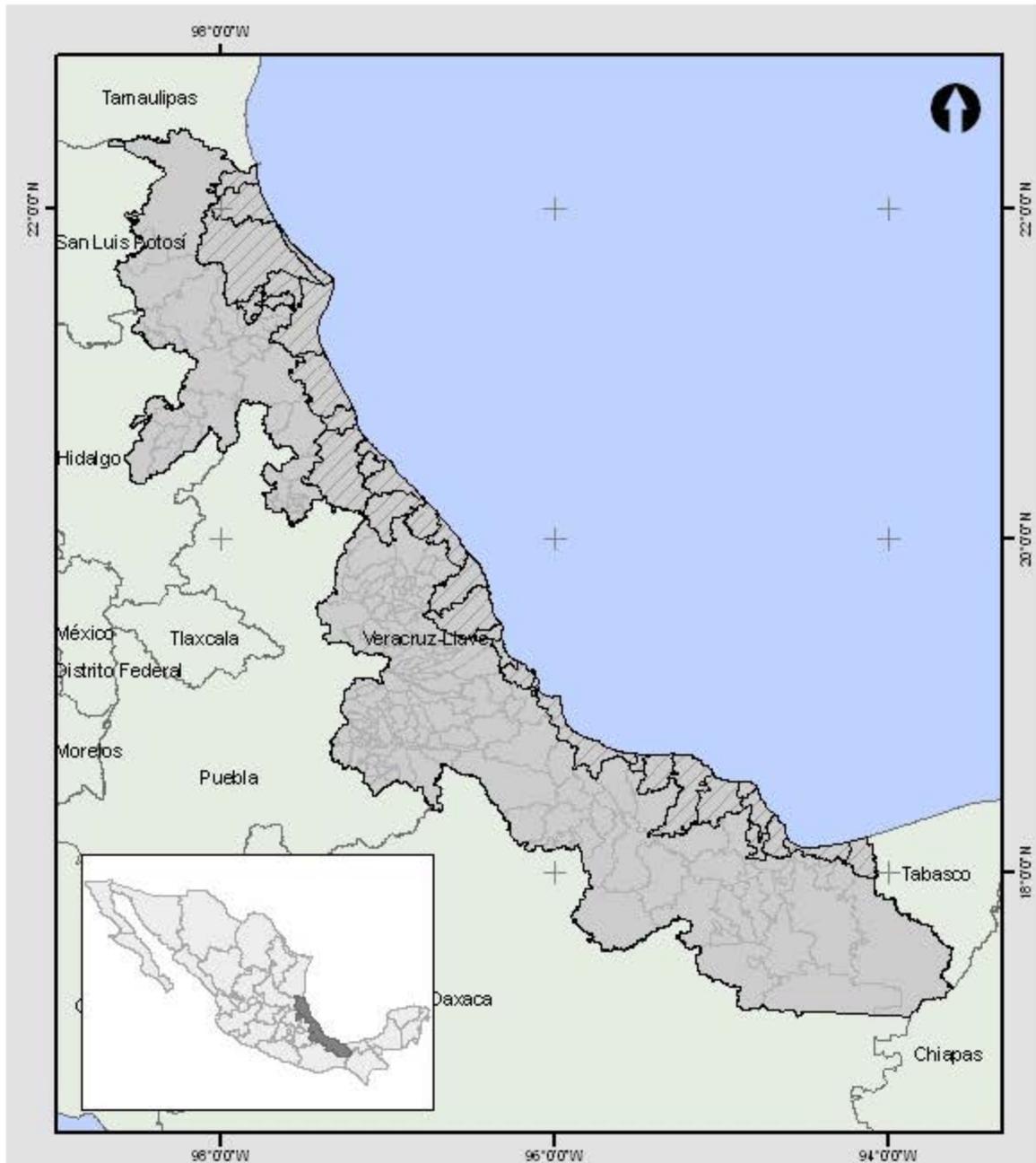


Fig 1. Estado de Veracruz

#### **1.4 VIENTOS:**

Esta zona costera se ubica en el cinturón de los vientos alisos que de finales del verano a principios del otoño transportan humedad y producen abundante lluvia. Entre julio y noviembre se presentan ondas tropicales que provienen del este formándose depresiones tropicales, tormentas tropicales o huracanes.

Los vientos huracanados al ocasionar oleaje fuerte dan lugar a cambios en el nivel del mar, causando intensas lluvias, modificando los procesos sedimentarios en la zona costera e incrementan el proceso de erosión costera en la zona (SEMAR 2002).

En invierno, los vientos dominantes provienen del norte, son masas de aire polar continental que se desplazan hacia el sur provenientes de Canadá y Estados Unidos pueden originar fuertes vientos cuya intensidad alcanza rachas fuertes y violentas y venir acompañadas por lo general de intensas precipitaciones en los meses de septiembre a abril.

Dependiendo de la intensidad de las lluvias y de los vientos generados por estos fenómenos meteorológicos, se pueden provocar pérdidas humanas y materiales por las inundaciones y daños a los cultivos agrícolas. Los nortes tienen una duración de uno a seis días con rachas de vientos promedio de 37 km/h, presentándose con una frecuencia de 15 a 20 nortes por año (SEMAR 2002).

#### **1.5 HURACANES:**

Los ciclones tropicales mejor conocidos como huracanes, se forman en el Hemisferio Norte en las regiones oceánicas ecuatoriales al Norte de los 5° de latitud norte, desde mayo hasta principios de noviembre.

El 80% de los huracanes que ocurren en el Golfo de México se forman fuera de él, disolviéndose normalmente en las costas del Noroeste del Golfo o en la Península de Florida. Su centro normalmente se desplaza con velocidad de 18 a 20 km/h cuya dirección más común es hacia el oeste, cambiando a veces al noroeste (NW) o al noreste (NE).

La mayor frecuencia e intensidad tienen lugar en los meses de agosto, septiembre y octubre. Regularmente se desarrollan 9 huracanes por año en promedio cuyo diámetro varía entre 180 y 930 km.

La evolución de los huracanes está condicionada por la cantidad de energía liberada en forma de calor, de modo que las aguas tibias del Golfo de México proporcionan las condiciones de vapor propicias que actúan como vivificador de los huracanes.

Para Veracruz la mayoría de las lluvias se presenta en el verano, con un porcentaje de lluvia invernal mayor de 5%, debido a la influencia de los nortes que aportan humedad

## **1.6 TEMPERATURA MEDIA ANUAL:**

La temperatura media anual que se ha registrado en el período de 1940 a 1997 sobre la línea costera oscila entre los 20.0 °C a 24.7 °C. Las temperaturas medias mensuales más cálidas fluctúan entre los 23.0 °C a 27.9 °C registrada en los meses de marzo a noviembre.

La temperatura máxima registrada sobre la línea costera oscila entre los 38.0 °C a 48.0. Las temperaturas mínimas fluctúan en el rango de 0 a 9.5 °C.

## **1.7 MAREAS:**

Las mareas en el Golfo de México que son las que registramos en Veracruz son predominantemente diurnas con una altura de unos 60 cm. El período de la marea diurna principal es de 12 h 24 min. El promedio del intervalo de mareas para el centro-sur del Golfo de México es de 0.48 m y la variación del nivel del mar anual promedio es de (-0.0504 a +0.0892 m), de acuerdo con las tablas de predicción de mareas, 1993 a 1996 (Instituto de Geofísica, UNAM).

Aunque el rango de mareas es pequeño a lo largo de la costa del Golfo (-0.5m), es muy importante en las zonas de mezcla de ambientes estuarinos con movimiento de agua y sedimentos, particularmente en las desembocaduras fluviales, los esteros, brazos deltáicos y bocas de lagunas. El nivel del mar presenta una notable variación estacional con un nivel máximo al final del verano y principios de otoño (SEMAR 2002).

## **1.8 CORRIENTES COSTERAS:**

Como parte del Golfo de México, la costa de Veracruz recibe la influencia de lo que sucede en la circulación a lo largo del Golfo. Es a través del canal de Yucatán que entra al Golfo el agua subtropical subsuperficial del Caribe con un alto contenido de sal y calor, moviéndose en el sentido de las manecillas del reloj (anticiclónicamente) formándose la corriente de Lazo. Esta corriente tiene su mayor intrusión al Golfo en verano y la mínima en invierno; y en general su trayectoria e intensidad tienen una gran variabilidad estacional y anual (Monreal-Gómez et al., 2004).

De la corriente de lazo se desprenden varios giros anticiclónicos en intervalos de 3 a 25 meses, los cuales se propagan hacia el oeste con velocidades de 2.1 a 4 km/día. En su desplazamiento al oeste cambian de forma y tamaño. Es el talud continental el que produce la desintegración de estos giros, dando origen a la formación de giros más pequeños o secundarios tanto ciclónicos como anticiclónicos. Uno de los cuatro giros ciclónicos que son bastante recurrentes es el que se ubica al nordeste de la Laguna de Tamiahua en el norte de Veracruz (Vásquez de la Cerda 2004).

La circulación costera frente al Estado de Veracruz, fluye gobernada por los vientos del este y sureste (vientos alisios). Sin embargo, durante la temporada invernal, suceden inversiones en presencia de eventos de nortes (SEMAR 1998a).

La corriente costera en el golfo occidental, frente al estado de Tamaulipas y en la parte norte de Veracruz ha sido observada generalmente, con componente principal en dirección al sur siguiendo la costa.

La velocidad de estas corrientes también varía a lo largo de toda la costa, se han registrado velocidades bajas en las costas de Alvarado, por el Río Jamapa, frente a la Laguna de Tamiahua; y un poco más altas enfrente del Puerto de Veracruz, por el Río Tuxpan y Río Panuco. Esta variación en velocidad depende principalmente de la batimetría y la topografía. Hacia el río Panuco se empieza a observar la formación de pequeños giros anticiclónicos, su desplazamiento es principalmente hacia el norte (SEMAR 1998a)

## **1.9 CORRIENTE LITORAL:**

Normalmente, la dirección e intensidad de la corriente litoral (flujo del agua entre la rompiente y la línea litoral) depende de la altura de la ola y del ángulo de incidencia del oleaje (ángulo formado por la línea de la cresta de las olas con el litoral); sin embargo, de acuerdo a las observaciones llevadas a cabo de noviembre de 1999 a marzo del 2000 frente a la Heroica Escuela Naval Militar en Antón Lizardo, Ver., revela que la dirección de la corrientes estuvo estrechamente ligada a la rapidez y dirección del viento y a la corriente costera, ocurriendo intensificaciones de la corriente litoral durante los eventos de norte, hasta alcanzar velocidades de 2 nudos. (SEMAR 1998a).

El Golfo de México es un mar representativo de cuencas oceánicas semicerradas que, a similitud del Mediterráneo, se caracteriza por tener una circulación marina vigorosa sobre su plataforma continental, que aproximadamente se localiza de la costa hasta la isobata de los 200 metros de profundidad. Las componentes de la circulación marina más energéticas son representadas por fluctuaciones con escalas mayores a un día. Esos movimientos de masas de agua son inducidos por la fluctuación estacional de los vientos sobre la superficie del mar, que generan sobre la plataforma continental occidental una corriente de Norte a Sur en Otoño e Invierno, y en sentido opuesto en Primavera y Verano.

Superpuesto a ese flujo, se observa un movimiento asociado a la presencia de giros (estructuras que se pueden visualizar sobre la superficie del mar con una forma geométrica semicircular o elíptica) los cuales se generan de la Corriente del Lazo cuando ésta penetra por el estrecho de Yucatán hasta la plataforma continental del Golfo norte. Esos giros generalmente rotan en el sentido de las manecillas del reloj (sentido anticiclónico), posteriormente se desplazan hacia el oeste del Golfo hasta chocar con la plataforma continental del estado de Tamaulipas, donde por conservación de masa y continuidad, se divide en dos giros: uno que se desplaza hacia el norte (sobre la plataforma continental de los Estados Unidos) y otro hacia el sur, sobre la plataforma continental de Veracruz. A menor escala, ese sistema de circulación general puede interaccionar con las características topográficas de la zona costera e inducir una circulación local, abundante en giros de menor escala. Sin embargo, la estructura de las corrientes locales aún es desconocida

### **1.10 OLEAJE:**

Los vientos del NE y SE controlan el oleaje del sureste según Walsh (1962), el oleaje originado durante el invierno es similar al generado por los fuertes vientos del este, caracterizándose por ser de corta duración y gran magnitud. Ortiz et al., 1996 describen cuatro tipos de regímenes de oleaje en el mar y la costa de Veracruz (Ortiz et al, 1996):

- a) el oleaje asociado a los vientos locales (energía moderada y baja).
- b) oleaje en lagunas costeras o de aguas protegidas, asociada a vientos locales o de brisa marina de período muy corto entre dos a tres segundos, con olas de altura de alrededor de 0.5 metros.
- c) oleaje de tormenta originado por la presencia de los Nortes. Su importancia es definitiva en las playas por su poder erosivo, destructivo y por la remoción de arenas. Los vientos frecuentemente exceden los 40km/h, creando mareas de tormenta que inundan las tierras bajas, erosionan playas, y transfieren sedimentos en diversas direcciones. Hay movimiento de arenas en los campos de dunas con una orientación de norte a sur, progradando o acumulando arenas en las lagunas costeras, situadas a sotavento o atrás de la barrera arenosa hacia tierra adentro.
- d) oleaje de tormenta provocado por los huracanes, donde las olas mayores de 4 metros han sido observadas, con consecuencias destructivas en cualquier parte de la costa.

El oleaje se relaciona con las corrientes de circulación playera. A su vez, de éstas últimas depende la distribución de nutrientes, mezcla de aguas dulces y salinas, el acarreo de arenas, escombros y basura a lo largo de la costa, entre otros más

### **1.11 BATIMETRÍA MARINA:**

En la parte marina se pueden definir 3 zonas. La zona litoral de 0 a 20 m. En esta franja ocurre el transporte litoral (traslado de movimientos a lo largo de la costa). La buena oxigenación, iluminación, hace una zona de proliferación de organismos bentónicos. (Secretaría de Marina). De los 20 a los 200 m de profundidad se extiende la plataforma continental. La zona de talud se extiende desde esta zona hasta alcanzar los 2000 m de profundidad.

La Plataforma Continental es la prolongación del continente bajo el mar, que desciende muy suavemente en un ángulo aproximado de  $0.1^\circ$  con la horizontal (aproximadamente 1 metro por cada 100) desde la costa hasta 130 a 200 m de profundidad. En el estado de Veracruz se tiene una plataforma continental de aproximadamente 23,700 km<sup>2</sup> y un ancho promedio de 33.6 Km. En Veracruz, la plataforma continental es estrecha comparada con la registrada frente a las costas de Campeche. Se estrecha aún más enfrente de Los Tuxtlas y en la parte central por el Morro de La Mancha y Laguna Verde. Frente a la Barra de Santa Ana, el extremo exterior de la plataforma se localiza a 130 m de profundidad y a 46 km del litoral. Hacia el sureste se ensancha significativamente. El Mar territorial es de 14,488 km<sup>2</sup> (SEMAR 2004).

Las cuencas oceánicas se extienden desde los 200 m y hasta una profundidad de entre 1500 y 4000 m. En este trayecto la plataforma cede su lugar al talud continental, en un ángulo de 3 a 6 grados con la horizontal; a partir de ahí y hasta una profundidad de 4000 a 5000 m, el ángulo se reduce de nuevo hasta  $1^\circ$ , formando el ascenso o elevación continental. Los taludes y los ascensos continentales están surcados por muchos cañones submarinos. A partir de las bocas de estos cañones se extienden zonas aluviales en forma de abanico, constituidas por sedimentos, probablemente transportados y depositados por corrientes de turbiedad.

### 1.12 Tipos de obras de protección marítima, características particulares, ventajas y desventajas:

Es probable que haya usted observado esas raras piezas de concreto de más de dos metros de altura y con forma de tetraedro extraño, que se utilizan en las escolleras de algunos puertos. Estos curiosos bloques se llaman tetrápodos porque tienen 4 patas, y tienen la peculiaridad de engancharse unos con otros de forma natural. Cuando hay temporal su curiosa forma hace que puedan aguantar los embates del más fuerte oleaje sin ser arrastrados por la mar. Cuando rompen las olas los chorros de agua se dispersan por los huecos que hay entre ellos, disipando entre todos ellos la energía motora que aporta la ola.



Fig. 2 Escolleras

Cualquier escollera tiene como objetivo proteger al dique, y esto se logra consumiendo la energía cinética que aporta la masa de agua al estrellarse, al penetrar y rozar el agua por todos los huecos. Lo mismo se consigue haciendo una escollera de con bloques de piedra que son más baratos, pero de menor eficacia en la absorción de la energía.

El caso totalmente contrario a la absorción de la energía de la ola es cuando ésta llega al borde de un acantilado que se hunde profundamente en el mar sin dar ocasión a que se levante una rompiente. En este caso la ola rebota limpiamente al igual que ocurre con los chapoteos y las olitas dentro de los puertos. A veces la onda reflejada se anula con el tren de olas incidentes dejando una superficie relativamente plana. Los chapoteos son los 'restos' de esta anulación al poder variar ligeramente la dirección de reflexión.

Algunos diques protegen el puerto justamente por este sistema de reflexión, pero para ello, hace falta que el dique se hunda profundamente en el mar dando posibilidad a que se produzca reflexión sin antes formarse una rompiente. Este tipo de protecciones sufre enormemente con fuertes temporales por lo que en la mayor parte de los puertos se utilizan escolleras.

Los diques de piezas sueltas o diques rompeolas son las obras más comúnmente usadas para la protección de áreas costeras o puertos contra la acción del oleaje. Estas estructuras disipan la energía del oleaje por los procesos de:

- 1) rotura,
- 2) fricción sobre y en el interior del macizo granular
- 3) transmisión de oleaje hacia la parte abrigada.

La misión de los diques de escollera es la creación de área abrigada frente a la acción del oleaje. Desde un punto de vista funcional, la transmisión de energía sobre y a través del dique son condicionantes fundamentales del diseño. Cuando la altura de la coronación es suficiente como para evitar el rebase, se definirá el dique como no rebasable. Cuando el rebase condiciona la agitación interior o el uso de la coronación, el dique será rebasable. Si la coronación queda en algún momento bajo el nivel del mar, el dique se denomina sumergido.

En Europa, el dique en talud es la tipología más utilizada en diques y espigones debido a la facilidad de construcción, a su elevada resistencia frente a grandes temporales y su gran capacidad para disipar la energía incidente. Los diques en talud se construyen generalmente con un núcleo relativamente poco permeable, encima del cual se superponen capas de piedra y elementos de tamaño creciente (capas de filtro, manto secundario y manto principal).



Fig. 3 Escollera conformada por tetrápodos

Si los diques están a gran profundidad, los elementos que conforman los mantos exteriores suelen ser piezas de hormigón en masa cuya forma ha sido objeto de múltiples diseños específicos a lo largo de la historia.

El diseño de los elementos para el manto principal y su forma de colocación dotan al dique de características particulares asociadas al elemento y su colocación:

(1) Colocación en varias capas.- Los elementos más utilizados son los de colocación aleatoria en dos capas, los cuales resisten fundamentalmente por gravedad. Se puede utilizar piedra natural (escollera) o piedra artificial de hormigón con formas simples como el cubo o el paralelepípedo utilizados desde el siglo XIX. Estos elementos simples de caras paralelas son muy utilizados en las costas españolas porque tienen una resistencia estructural individual muy elevada, aunque sufren el problema del adoquinamiento (compactación heterogénea) y presentan escasa fricción con las capas inferiores del dique.

También existen elementos más complejos como el Tetrápodo o el Cuadrípodo los cuales además de resistir por gravedad presentan un cierto grado de trabazón entre ellos, lo cual aumenta la estabilidad hidráulica del conjunto y con ello la posibilidad de fallo progresivo. Por otro lado, existen elementos de colocación aleatoria en varias capas mucho más esbeltos y con una gran trabazón entre ellos, como por ejemplo el Dolo, de gran estabilidad hidráulica pero con grandes problemas de fragilidad individual y baja estabilidad residual del talud.

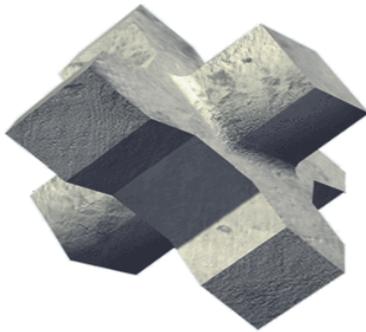


Fig. 4 X-bloc

(2) Colocación en una capa.- Los elementos de colocación aleatoria en una capa como el Accropode, el CoreLoc o el X-Bloc resisten fundamentalmente por dos mecanismos: gravedad y trabazón. Éstos presentan una buena trabazón entre las piezas y necesitan menos hormigón que los elementos de colocación aleatoria en dos capas, pero tienen un comportamiento relativo frágil a la rotura ya que al saltar algunas piezas se produce una destrucción progresiva en cadena del manto principal y además tienen una resistencia estructural de la pieza en si misma intermedia, lo cual puede inducir cambios rápidos en la respuesta del dique frente al oleaje.



Fig. 5 Coreloc

(3) Colocación regular: Los elementos de colocación regular uniforme en una capa como los Seabee, Cob, o Shed presentan grandes problemas de fragilidad a la rotura individual debido a su esbeltez y un gran riesgo de fallo progresivo del manto ya que su principal mecanismo de resistencia es la fricción entre ellos con muy baja resistencia por el peso propio individual.

En las costas españolas se utilizan generalmente elementos cúbicos o paralelepípedicos, ya que presentan múltiples ventajas: son robustos, fáciles de construir, tienen un comportamiento flexible frente al oleaje, no sufren roturas importantes ni pierden estabilidad con la intensidad de los temporales. Por otro lado, son más tolerantes a los errores de diseño que se traducen en erosiones mayores pero raramente en rotura total del dique.

Sin embargo, los bloques cúbicos y paralelepípedicos presentan serios inconvenientes debido a su tendencia a adoquinarse (acoplamiento cara a cara), lo que ocasiona una compactación elevada en las zonas inferiores (por debajo del nivel medio del mar) y pérdida por deslizamiento de bloques del manto en las zonas superiores.

Además, el acoplamiento cara a cara puede provocar pérdidas importantes de fricción con la capa inferior y facilitar el consiguiente deslizamiento de los elementos del manto principal.

Estos problemas influyen de forma considerable en la estabilidad, el remonte y rebase del oleaje sobre la estructura, afectando el diseño y la operativa portuaria.

Los diques rompeolas se suelen diseñar con diferentes capas, con piezas de tamaño decreciente desde el manto exterior, o manto principal, hasta el núcleo. Los mantos secundarios, con piezas de tamaño decreciente hacia el interior, deben cumplir la misión de apoyo y filtro con las piezas de los mantos adyacentes. Estos diques se denominarán multicapa. En algunos casos, bien debido al pequeño volumen del dique, a la disponibilidad de material, o a la escasa importancia de la transmisión a través del dique u otros factores, es económico construir diques de una sola capa, esto es monocapa.



Fig.6 Accropode.

### 1.13 CUBÍPODO: NUEVO ELEMENTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE DIQUES

La nueva pieza, llamada CUBÍPODO, es una pieza simple, robusta y fiable para ser utilizada como elemento constitutivo del manto principal de diques rompeolas.

Diseñada a partir del bloque tradicional, tiene también una gran robustez estructural como elemento individual y se ha comprobado que tiene una estabilidad hidráulica mucho mayor que el bloque tradicional en el manto principal de diques en talud. Los procesos de fabricación y colocación del Cubípodo son semejantes a los del bloque cúbico tradicional.

Concretamente, el objeto de la invención es un elemento de forma básica cúbica o paralelepípedica el cual dispone de una o varias protuberancias en sus caras para evitar el acoplamiento entre elementos y aumentar la trabazón tanto con la capa inferior de escollera como entre los propios elementos.

El nuevo elemento presenta las ventajas de robustez y estabilidad propias del elemento original resolviendo los problemas producidos por el adoquinamiento del bloque tradicional gracias a las protuberancias diseñadas en sus caras.

Las protuberancias dotan al Cubípodo de mayor fricción con la capa inferior, de escollera natural o artificial, ya que penetran en la capa inferior generando un empuje pasivo que impide el deslizamiento; por el contrario, los bloques tradicionales tienden a mover los elementos colocando las caras paralelas a la capa inferior con mucha menor fricción manto-capa inferior.

Además las protuberancias impiden que los elementos se adoquinen durante la vida útil del dique y por tanto evitan el consecuente deslizamiento de elementos y pérdida de los mismos en la zona superior que estos movimientos producen. Por tanto los Cubípodos reducen significativamente el modo de fallo de compactación heterogénea del manto principal, manteniendo la capacidad resistente del dique frente a la extracción de piezas producidas por el oleaje. La Figura 7 muestra una vista 3D del Cubípodo ensayado en laboratorio y la Figura 8 un esquema de la colocación contra el adoquinamiento de los cubos.



Figura 7. Vista 3D del CUBÍPODO.

En cuanto al tamaño de las piezas, los resultados de los ensayos de laboratorio muestran que para soportar el mismo oleaje que los cubos tradicionales, son suficientes elementos mucho más pequeños y de menor densidad. Su utilización en lugar del bloque tradicional sería pues económicamente ventajoso ya que el volumen de hormigón necesario para la construcción de un dique sería mucho menor que el caso de usar elementos cúbicos tradicionales. La Figura 9 muestra una perspectiva del manto.

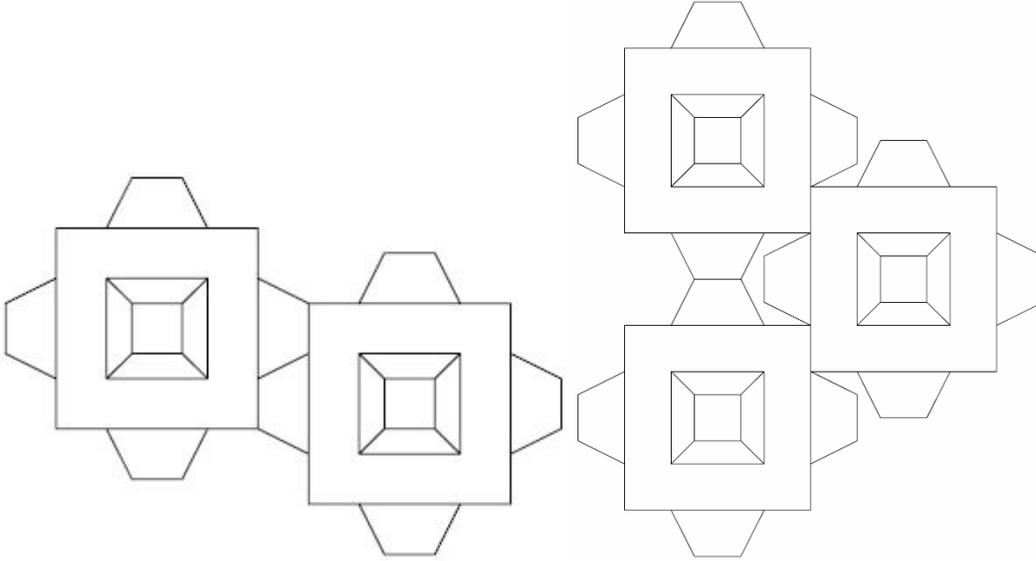


Figura 8. Esquema del efecto separador contra el adoquinamiento que producen las protuberancias entre los Cubípodos.

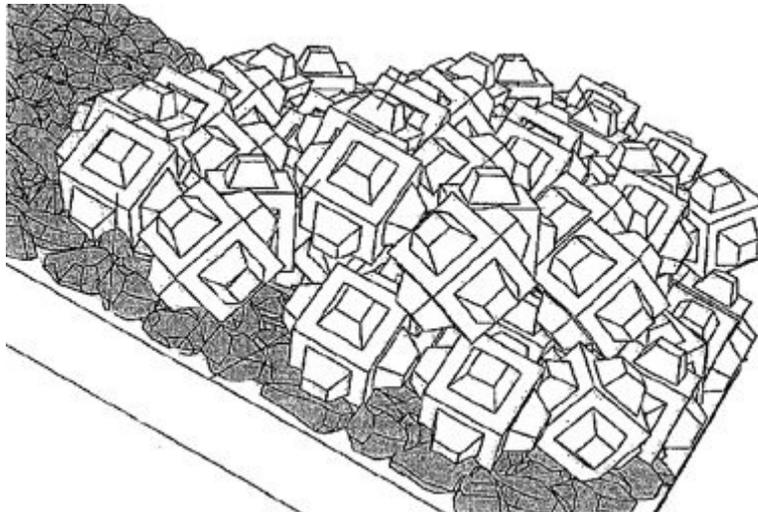


Figura 9. Vista en perspectiva de una zona de manto principal constituido por Cubípodos, donde se observa la penetración de las protuberancias del elemento en la capa inferior.

## ASPECTOS INNOVADORES Y VENTAJAS

Protuberancias en las caras de un elemento de forma cúbica o paralelepípeda.

Ventajas:

(1) Evita el adoquinamiento del bloque tradicional:

Impide el acoplamiento cara a cara de los bloques cúbicos y paralelepípedos tradicionales aumentando tanto la trabazón entre los propios elementos del manto como la fricción del manto con la capa inferior ya que las protuberancias penetran en dicha capa. Consecuentemente se dificulta la extracción de los elementos del manto y el deslizamiento de los mismos.

(2) Gran robustez:

Elevada resistencia estructural individual de los elementos a la rotura debido a la poca esbeltez de las partes del Cubípodo.

(3) Gran estabilidad hidráulica y menor rebase:

Aumenta la resistencia de los diques frente al oleaje al evitar el adoquinamiento de los elementos y su deslizamiento se evitan la pérdida de elementos en la zona superior y se reduce el remonte y el rebase correspondiente. Al impedir o reducir la compactación heterogénea se mantiene la resistencia del dique frente a extracción de piezas producidas por el oleaje.

(4) Facilidad de construcción:

Sencillez de ejecución del dique similar a la de los bloques tradicionales, mucho mayor que los elementos de colocación no aleatoria. La colocación de los Cubípodos es aleatoria en dos capas, no requiriendo la colocación cuidada que exigen otras tipologías existentes en el mercado. El encofrado necesario para la fabricación es sencillo y no se precisa ningún requisito en la orientación de las unidades individuales para alcanzar una buena trabazón.

(5) Ahorro económico y de materiales:

Comparado con los elementos cúbicos o paralelepípedos tradicionales se utilizarían piezas más pequeñas para resistir los mismos temporales, por lo que se reduce el volumen de hormigón requerido para la construcción del dique con el consiguiente ahorro económico y reducción de la huella ecológica.

### 1.14 PRODUCTOS ALTERNATIVOS

Otros elementos robustos para la formación de mantos de diques en talud como el cubo, paralelepípedo o bloque Antifer y también formas más complejas como el Tetrápodo, Quadrípodo, Akmon, Stabit, Accropode, CoreLoc, X-bloc, Ecópodo, A-Jack, Seabee, Cob, Shed.



Fig.10 Bloque Antifer

### Akmon

Significa **yunque** y fueron desarrollados en el *Laboratorio de Hidráulica de Delf* (Países Bajos), de forma similar a los [doloses](#), pero más robusta, están constituidos por dos partes con formas de T de formas prismáticas unidas por sus bases y giradas 90° una respecto de la otra.

Sirven para fabricar escolleras artificiales, ya que por su forma se traban unos a otros



Fig.11 Akmon

### Bolsacreto.

Con el uso del Bolsacreto no es necesario incurrir en los costos relacionados con prefabricación, transporte y colocación especializada por medio de grúas de gran capacidad de los sistemas anteriormente mencionados.

El procedimiento de colocación permite los trabajos en condiciones secas o bajo agua según los requerimientos del proyecto

**En estabilidad de taludes:**

Se utilizan generalmente en la conservación de los taludes que estén expuestos a corrientes de agua (líneas costeras, ríos o canales). Son una alternativa a los métodos tradicionales tales como el rip-rap, los gaviones y los muros de contención por gravedad en concreto.

**En estructuras hidráulicas:**

En la construcción de estructuras tales como espolones y rompeolas, donde trabajan como estructuras disipadoras de energía y/o como manejadoras de líneas de corriente, evitando el deterioro en las orillas, además del costoso transporte y la colocación de grandes enrocados.



Fig. 12 Bolsacreto

**Ventajas**

- Facilidad en el transporte y el almacenamiento, ya que los Bolsacretos son llevados vacíos hasta el sitio de la obra, donde posteriormente son llenados y colocados, lo cual permite el manejo de grandes volúmenes a bajos costos.
- Se puede lograr la protección de grandes áreas en un corto período de tiempo, debido a la velocidad de construcción que permite esta tecnología.
- Fácil adaptación a superficies irregulares, puesto que durante el proceso de llenado el Bolsacreto adquiere la forma del medio circundante.
- Reducen significativamente los costos de la construcción, ya que esta tecnología no requiere de equipos pesados de construcción, se obtienen grandes rendimientos y no se necesita una mano de obra especializada.
- Son resistentes al choque con el agua en estructuras hidráulicas.
- Reemplazan los sistemas tradicionales de protección con gaviones, enrocados naturales y muros de contención en concreto.
- Pueden instalarse por debajo del agua, no siendo necesario construir obras temporales de desvío que incrementan el costo de la obra.

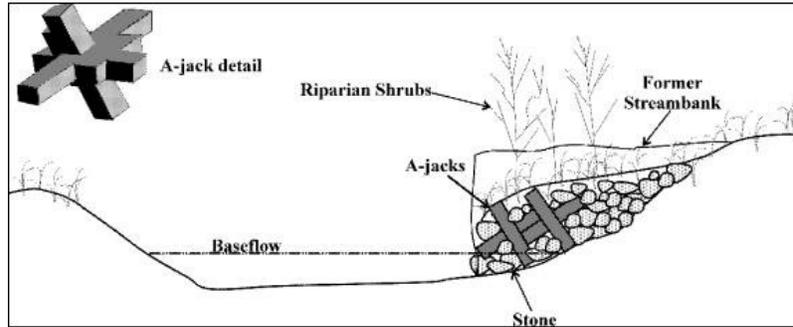


Fig.13 A-jack

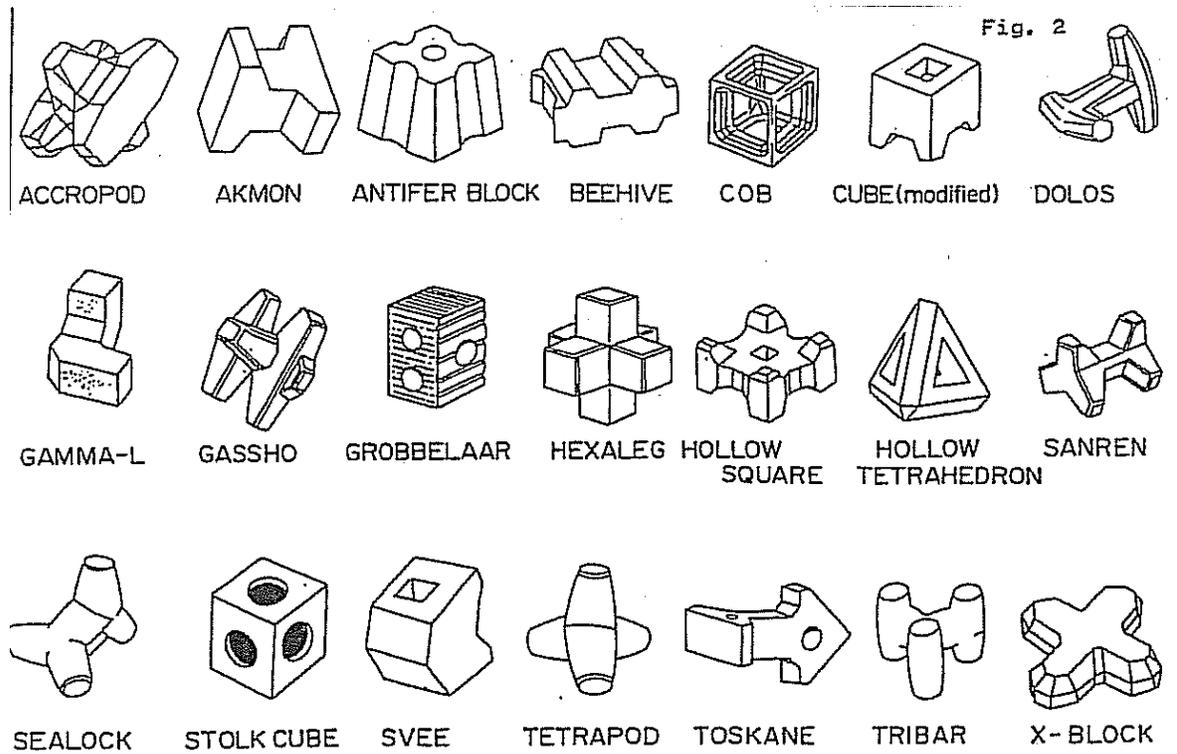


Fig.14 Tipo de elementos de concreto utilizados

## 1.15 Selección del tipo de obra más adecuado a la zona de trabajo

### VIA TERRESTRE

Suele ser más barata

Equipos reutilizables para otros usos

Costoso transportar mucho volumen a pie de obra

Uso de plan de obra

Especificar plan de obra/reparación y mantenimiento



Fig. 15 Descarga de material producto de banco de materiales

1. Vía marítima: +turbidez que en terrestre y mayor dificultad de control de obra.
2. V. M: mayor dispersión de material.
3. V. M. No compacta núcleo.
4. V. T. Anchuras de coronación + grandes.
5. V. T. Obra -expuesta a la acción de temporales (solo frente de avance) y +fácil de proteger.

## CAPITULO II ROMPEOLAS Y ESCOLLERAS

### 2.1 ROMPEOLAS:

El objetivo de la construcción de un rompeolas es establecer una zona de mar en calma en la que las embarcaciones se puedan amarrar con seguridad durante períodos meteorológicos adversos. Es, por lo tanto, importante para la comunidad local que el rompeolas sea capaz de soportar el impacto de las olas normalmente propias de la zona. La no consecución de estos objetivos en situaciones normales (sin contar el efecto de tormentas extraordinariamente fuertes) podría provocar daños considerables a la flota pesquera. Para evitar que esto suceda se deberán tomar todo tipo de precauciones al construir un rompeolas a nivel artesanal con muy poca o ninguna ayuda o supervisión por parte del ministerio de obras públicas. De hecho, en litorales rocosos, no se debería intentar construir rompeolas en profundidades superiores a los 3 m sin contar con asistencia técnica, debido a la compleja naturaleza de las olas en aguas más profundas. Por otra parte, en las costas arenosas siempre debe recabarse el asesoramiento de expertos, cualquiera que sea la profundidad del agua.

El rompeolas típico consiste en una cresta de piedra basta, también llamada núcleo, cubierta o protegida por recubrimientos o capas de piedras más pesadas (Figura 16).

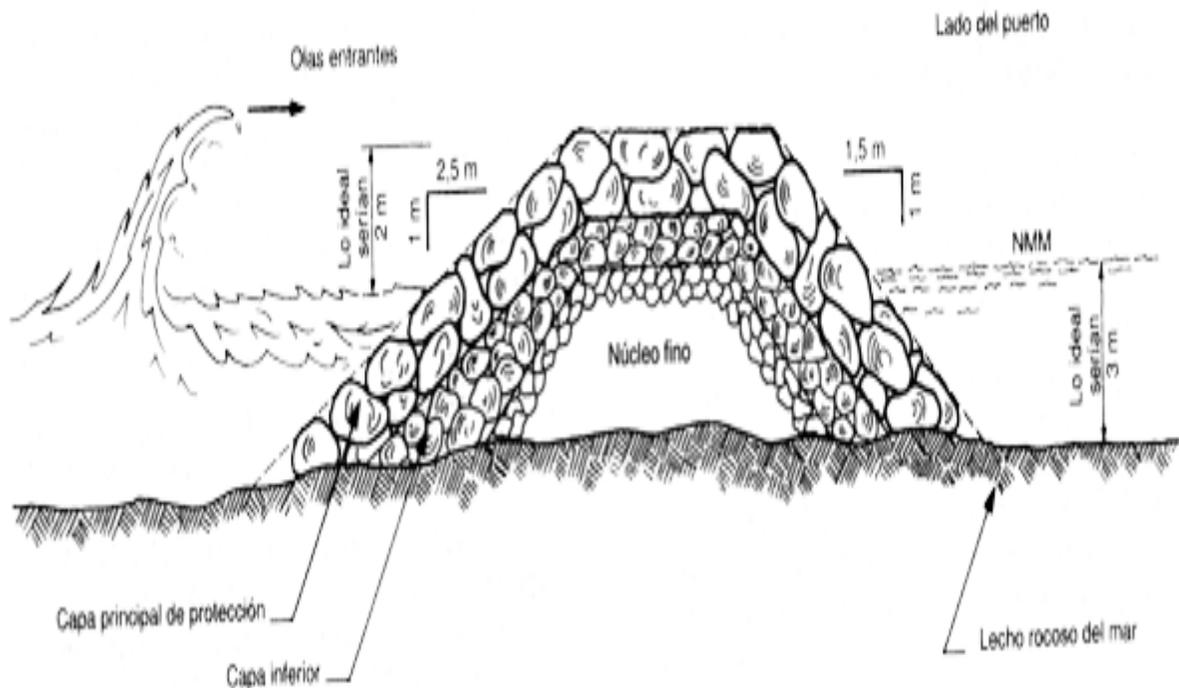


Fig. 16 Perfil estructural de rompeolas

### **2.1.1 El núcleo:**

Normalmente éste consiste en desechos de cantera sin las partículas finas (polvo y arena) vertidos en un montón en el mar por medio de un camión volquete. Para facilitar el vertido por medio de un camión, el núcleo debe tener preferiblemente una anchura de 4 a 5 m en su extremo superior y encontrarse a una altura aproximada de 0,5 m por encima del nivel medio del mar o, cuando hubiera una gran amplitud de mareas, por encima del nivel de pleamar en marea viva. El extremo superior del núcleo se deberá mantener nivelado y uniforme por medio de una máquina explanadora a fin de permitir que los camiones volquete puedan viajar a lo largo de todo el rompeolas. Cuando se echa al agua, el núcleo de escollera queda descansando con una pendiente aproximada de 1 a 1, lo que quiere decir que su nivel desciende en 1 m por cada metro que avanza. Dado el poco peso de la escollera en el núcleo, todo el trabajo de construcción relacionado con rompeolas deberá efectuarse durante las estaciones de más calma.

### **2.1.2 La primera capa inferior:**

La primera capa inferior de piedra que protege el núcleo de escollera para impedir que sea arrastrado normalmente consiste en piezas sueltas de piedra cuyo peso varía entre un mínimo de 500 kg hasta un máximo de 1 000 kg

Estas piezas se depositan normalmente en dos capas como mínimo con una pendiente que es generalmente menos acusada que la del núcleo, 2,5/1 en la pendiente exterior y 1,5/1 en la pendiente interior. Una pendiente de 2,5/1 quiere decir que el nivel desciende 1 m por cada 2,5 m de avance. La primera capa de piedra puede ser colocada con una excavadora hidráulica. También se puede utilizar una grúa normal si hay espacio para las patas de apoyo; no se deben utilizar las grúas con ruedas de goma en ningún momento sobre un núcleo desnivelado sin que sus patas de apoyo se encuentren en la posición extendida. La excavadora debe colocar la piedra más pesada tan rápido como sea posible sin dejar demasiado núcleo de escollera expuesto a la acción de las olas. Si llegara una tormenta al lugar con demasiado núcleo expuesto, existe el grave peligro de que el núcleo sea arrastrado y distribuido por las olas en toda la zona de construcción del puerto. La Figura 16 muestra la distribución de un perfil de piedra determinado, en este caso con una pendiente de 2,5/1: la distancia H es la altura de la parte superior de la nueva capa descendente por encima del nivel del fondo del mar. Sería conveniente colocar una pértiga de madera en la punta del núcleo subyacente y fijarla en su sitio con mortero. Se debería colocar una plomada pesada de piedra en el fondo del mar con una boya marcadora a una distancia igual a 2,5 x H. Posteriormente se debería llevar una cuerda de nilón de un color fuerte desde la plomada a la altura requerida de la pértiga.

Este procedimiento debe repetirse cada 5 m a fin de ayudar al operador de la grúa o de la excavadora a colocar la capa superior. Un nadador equipado con gafas de buceo debe asegurarse de que cada una de las piedras sueltas quede colocada dentro del perfil señalado.

### **2.1.3 La capa principal de protección:**

La capa principal de protección, como su propio nombre indica, constituye la defensa principal del rompeolas a la embestida de las olas. La existencia de cualquier tipo de defecto en la calidad de la roca, graduación (tamaño demasiado pequeño) o colocación (pendiente desnivelada o demasiado acusada) pondría a todo el rompeolas en grave peligro. Por esto se deberá tener mucho cuidado al seleccionar y colocar las piedras correspondientes a la capa principal de protección.

### **2.2 Materiales empleados:**

Los materiales empleados en la construcción de rompeolas y escolleras son: roca en sus diferentes tamaños, concreto hidráulico, concreto asfáltico, arena, tablaestaca, elementos pre colados, bolsas de plástico rellenas de concreto o combinación de varios de ellos.

El sistema más frecuente es el uso de materiales pétreos naturales y, en los casos en los cuales para la capa exterior no se dispone de roca natural, se emplean elementos pre colados de concreto hidráulico.

El tipo más frecuente de estas obras es el formado por un conjunto heterogéneo de forma trapezoidal que comprende: una parte interior o núcleo, formada por material pétreo de poco peso cuya función es impedir el paso de la agitación hacia el área protegida; una zona de transición o capa secundaria integrada por rocas cuyo tamaño obligan ya al empleo de grúas y a manejarlas individualmente y finalmente la coraza cuya finalidad es resistir los impactos del oleaje, formada por rocas o elementos artificiales de gran peso.

### **2.3 Método Constructivo:**

Conforme con estas características el proceso constructivo se inicia propiamente con la explotación del banco de roca, su clasificación según los tamaños requeridos y su transporte al sitio de obra.

A partir de la explotación y clasificación en los bancos de roca, el material pétreo deberá cargarse en cajas metálicas que se transportan en plataformas de camión o de ferrocarril, también se puede utilizar vehículos de volteo o chalanes, ello depende fundamentalmente de la localización del banco de material con relación al sitio de la obra. Para la colocación propiamente dicha, el proceso constructivo más frecuente es avanzar de tierra hacia el mar, empezando por el núcleo o parte interior, la cual generalmente se deposita por camiones de volteo variando del mayor al menor peso de adentro hacia afuera.

Los vehículos empleados utilizan la corona del núcleo para transitar, depositar el material y regresar a cargar, por esta razón deberá dejarse de tramo en tramo retornos para facilitar las maniobras.

En virtud de la poca resistencia que tiene el material del núcleo para resistir la acción del oleaje, deberá establecerse en cada caso la longitud máxima del núcleo que puede construirse antes de ser protegido por la capa secundaria, colocando sus elementos con grúa equipada con aditamentos apropiados como estrobos, garras, almejas, redes, charolas y otros. A su vez, la capa secundaria se irá protegiendo con piedra de coraza o elementos artificiales, si ese fuera el caso, a medida que se avanza hacia el mar y de acuerdo con lo especificado en el proyecto según las condiciones particulares de cada lugar.

Para colocar la coraza se emplea grúa que acomode de manera individual cada elemento natural o artificial. En ocasiones, cuando la distancia de colocación se dificulta en razón de posibles problemas de volteamiento de la grúa, podrá requerirse el empleo de grúas montadas sobre chalanes. Aunque como cite anteriormente que el procedimiento normal es avanzar de tierra hacia el mar, utilizando las partes construidas como apoyo para las subsecuentes, cuando por el volumen de material a colocar es muy considerable y en consecuencia se plantea el problema logístico por el número de camiones requeridos y el ciclo de cada uno o bien, por el hecho de que el transporte del material pétreo del banco al sitio de la obra se hiciese agua, puede requerirse el empleo de barcazas que se abren por el fondo para depositar el material de núcleo.

Esta operación se realiza hasta que la obra alcance una altura sobre el fondo que permita operar las compuertas de los chalanes, generalmente alrededor de 2 a 4 metros de profundidad como máximo. A partir de este momento se seguiría con la construcción por procedimientos convencionales atacando desde la tierra.

En estos casos, para la colocación del material de capa secundaria y coraza se tiene que recurrir al uso de chalanes de fondo plano con grúa y equipo ligero para abastecer la grúa. La colocación por sistema flotante de los elementos de capa secundaria y coraza tienen la misma limitante en cuando a profundidad que la que se señaló para el caso del núcleo, debiendo terminarse con el método terrestre.

## 2.4 LOS ESPIGONES:

A continuación se examina algunas definiciones generales sobre los espigones y se presenta los objetivos, funciones, formas, ventajas y desventajas de este sistema de defensas fluviales.

### 2.4.1 Definiciones:

Los espigones son elementos que arrancan de la orilla fluvial, a la que pueden estar empotrados o no, y penetran dentro de la corriente. Esto los hace bastante vulnerables a la fuerza del agua. El diccionario de la Real Academia define el espigón como un “Macizo saliente que se construye a la orilla de un río o en la costa del mar, para defender las márgenes o modificar la corriente.” Los espigones se clasifican de acuerdo a su orientación con respecto a la corriente en tres tipos: Normales o perpendiculares a la corriente, Inclinantes o contra corriente y Declinantes o a favor de la corriente.

Como se puede observar en la siguiente figura, la orientación del espigón con respecto a la dirección de la corriente determina como se acumulará el sedimento. Cuando el espigón es recto, la distribución de la arena es hacia ambos lados, para el espigón inclinante la mayor parte del sedimento se acumulará a la izquierda del espigón, y para el declinante se depositará en el lado derecho.

### 2.4.2 Clasificación de los espigones de acuerdo a su orientación:

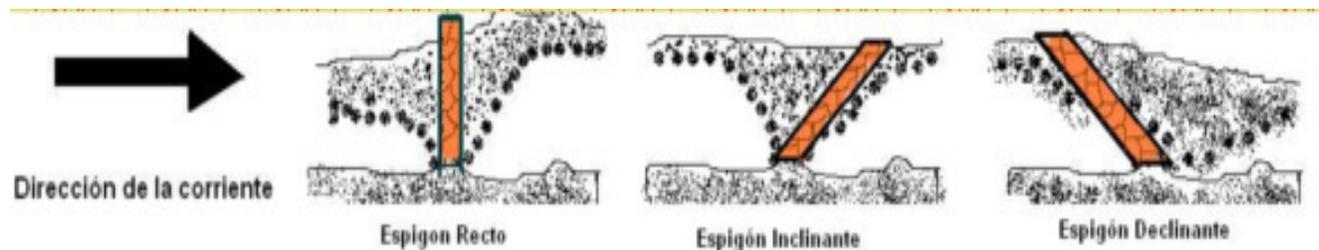


Fig. 17 Clasificación de los espigones de acuerdo a su orientación

Existe además otra clasificación de acuerdo a la forma que tienen los espigones.

El espigón martillo acumula sedimento en ambos lados; en cambio el espigón bayoneta inclinante la acumula al lado izquierdo y el bayoneta declinante al lado derecho, esto solo si la dirección de la corriente es de izquierda a derecha

### 2.4.3 Clasificación de los espigones de acuerdo a su forma:

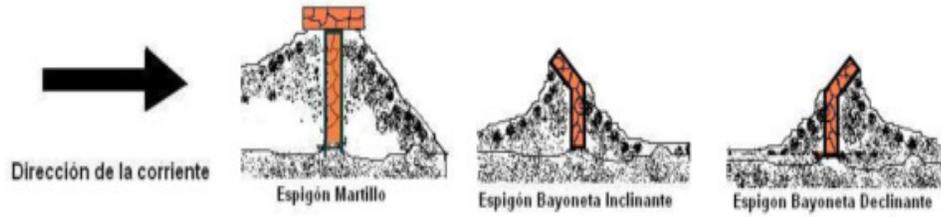
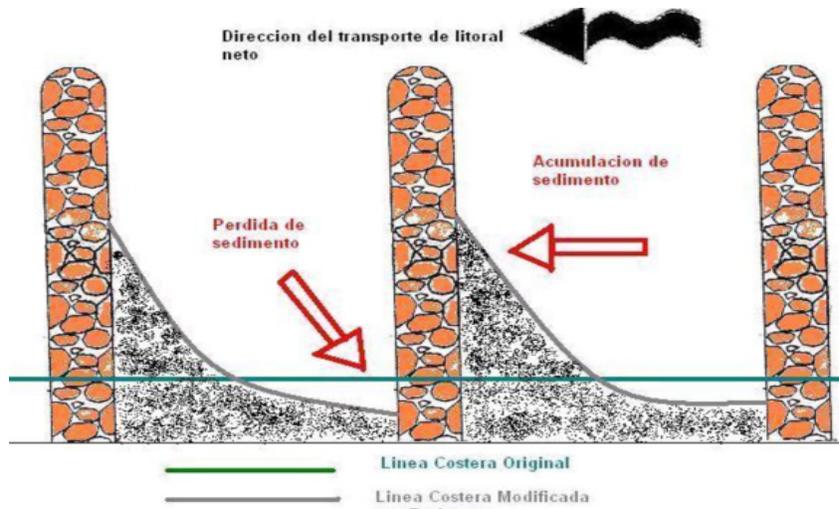


Fig. 18 Clasificación de los espigones de acuerdo a su forma



. Fig. 19 Efecto de los espigones rectos sobre la línea de costa

El cuerpo del espigón puede estar constituido por diversidad de materiales. se aprecia una representación esquemática y simple de un espigón, en el que se distingue varias partes:

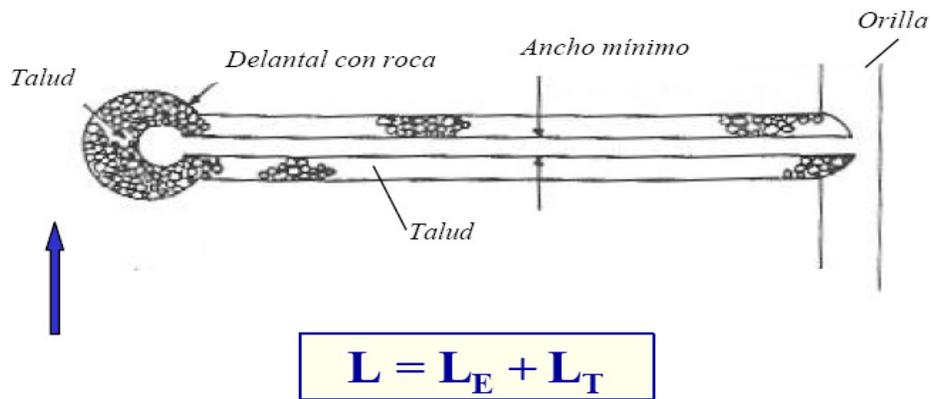


Fig. 20 Partes de un espigón

- Una parte, a la que se llama de empotramiento o de anclaje, cuya longitud se designa como  $L_E$ , que está dentro del terreno natural y sirve para evitar, o disminuir la posibilidad, de que se establezca un flujo detrás del espigón. La longitud de anclaje permite que si durante el proceso constructivo, o durante el primer tiempo de funcionamiento de los espigones, ocurre una erosión adicional, el espigón no quede separado del terreno natural constituyente de la margen.

- Otra parte, que está dentro del río, a la que se le llama efectiva o de trabajo cuya longitud se designa como  $L_T$ , cuya magnitud es muy importante para el éxito del sistema. La longitud total del espigón es simplemente la suma de  $L_E$  y  $L_T$ . En ciertos espigones con el paso del tiempo, parte de la longitud que era originalmente de trabajo puede convertirse en longitud de empotramiento.

- La "cabeza", "punta" o "nariz", que es el extremo del espigón y que está dentro del río. Puede ser robusta, o tener algún grado de protección, porque en sus alrededores se produce socavación. Su elevación sobre el lecho fluvial debe ser pequeña.

- La cresta se desarrolla longitudinalmente, desde la orilla hasta la punta del espigón. Generalmente desciende hacia el eje del río. La cresta determina la altura del espigón, el que puede estar sumergido o no.

- Fundación, en realidad es una transición entre el cuerpo del espigón (convenientemente profundizado en el fondo del río) y el lecho fluvial.

Los espigones, como estructuras ribereñas que forman una orilla virtual, deben verse como una secuencia o conjunto de elementos armoniosamente vinculados unos a otros. Los espigones no deben verse como elementos aislados, salvo que su función sea la de un deflector, como podría ocurrir en una bocatoma con efectos especiales.

El comportamiento de un espigón aislado se ha examinado en estructuras especiales o con fines de investigación en trabajos de campo, investigaciones de laboratorio y modelos matemáticos (simulaciones numéricas).

Así por ejemplo, los investigadores japoneses Ishii, Asada y Kishi estudiaron en ensayos de laboratorio un espigón aislado no sumergido con el objeto de conocer mejor la compleja zona de separación que se produce aguas abajo de cada espigón.

## **2.5 Espigones permeables e impermeables:**

En general, los espigones pueden ser permeables o impermeables. Ambos tipos son muy usados en diversas partes del mundo. El uso de uno u otro tipo depende de su objetivo, de su función y de las características del río.

### **2.5.1 Espigones permeables:**

Los espigones permeables, es decir los que permiten que el agua pase a través de ellos con pequeña velocidad, son útiles cuando se desea favorecer la sedimentación y formación de playas entre los espigones. La “permeabilidad” es una medida de la proporción de vacíos que tiene el cuerpo del espigón en la dirección de la corriente y se puede expresar como un porcentaje. Estos espigones pueden ser de alta o de baja permeabilidad. Su función es la de retardar el flujo y disminuir la velocidad cerca de las márgenes. Se les llama “retardadores”. Generalmente están más espaciados que los impermeables.

Los espigones permeables se caracterizan por lo siguiente:

- El agua, cargada de sedimentos finos, debe pasar a través de ellos.
- El espacio comprendido entre un espigón y otro debe irse rellenando con el depósito de los sedimentos finos en suspensión. Posteriormente, debe favorecerse el desarrollo de la vegetación.
- Protegen y robustecen la orilla fluvial; en realidad contribuyen a la formación de una “orilla virtual” como consecuencia de lo señalado en los dos puntos anteriores.
- Se pueden ir modificando y adaptando a las circunstancias que se presenten.
- Los requerimientos de construcción son simples. Se usa los materiales existentes en el área y debe buscarse siempre aprovechar la experiencia local.

En general, con un sistema de espigones permeables se logra disminuir la velocidad de la corriente. Por cierto que para pensar en espigones permeables la corriente debe tener un fuerte transporte de sólidos finos en suspensión que puedan depositar entre los espigones.

### **2.5.2 Espigones impermeables:**

Los espigones impermeables se pueden considerar deflectores. Se usan preferentemente cuando se trata de un río navegable en el que se trata de mantener una sección hidráulica central con un determinado calado. Se caracterizan por lo siguiente:

- Su función esencial es alejar la corriente de la orilla.
- Son fundamentalmente deflectores
- Se busca un estrechamiento del cauce y un aumento del calado (profundización), lo que implica un aumento de la velocidad de la corriente.
- Los procedimientos constructivos son más complejos.
- Se trata por lo general de “estructuras definitivas”.
- Favorecen la navegación, pues con ellos se aumenta el calado.

En general, con un sistema de espigones impermeables se busca aumentar la velocidad media de la corriente.

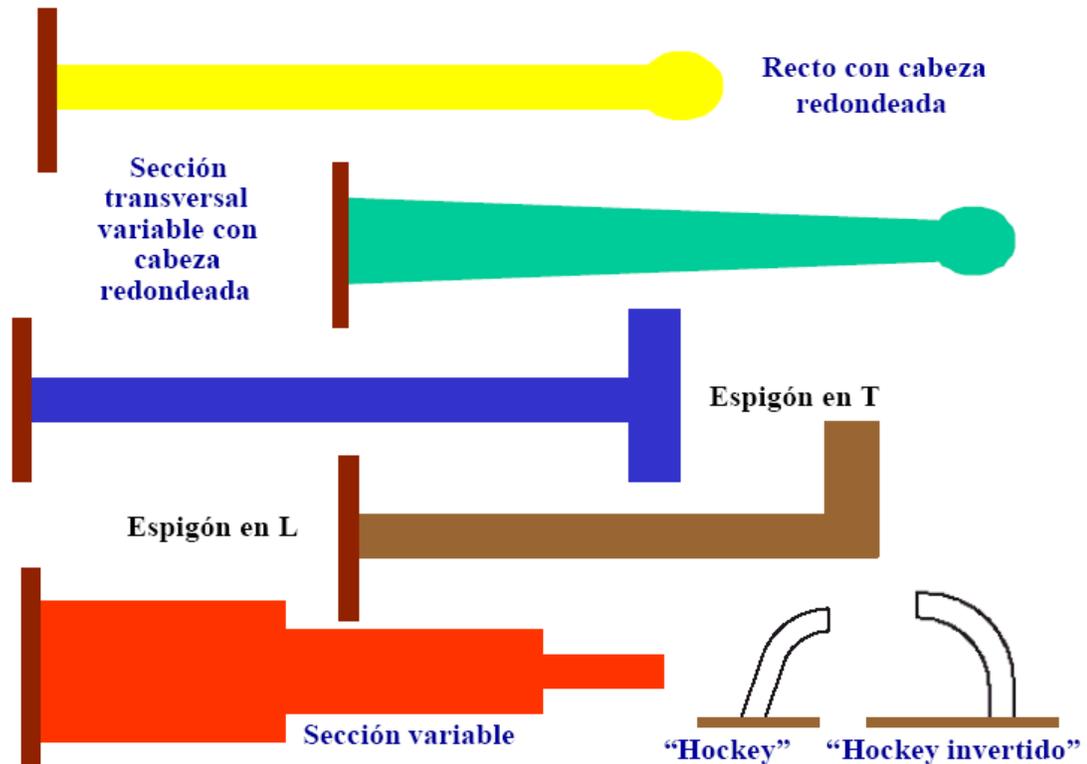


Fig. 21 Diferentes formas de espigones

## 2.6 Materiales a usar de acuerdo al tipo de obra escogido:

Los espigones se construyen con variados elementos, los que a su vez pueden estar formados de diversos materiales. Entre los elementos y materiales están los siguientes: roca, madera o bambú, gaviones, concreto, elementos prefabricados, tetrápodos, hexápodos, geotubos rellenos de material, acero (pilotes), fajina, sacos de concreto, sacos de mortero (bolsacreto), sacos de arena y muchos otros más.

Las piedras pueden colocarse al volteo o en gaviones. Maza menciona que en el río Papaloapán utilizaron "bolsacreto", es decir bolsas rellenas con mortero de cemento y arena en la proporción 1:10.

## **2.7 Objetivos y Funciones**

### **2.7.1 Objetivos:**

Un sistema de defensas con espigones puede tener los objetivos siguientes:

- Defensa de las márgenes contra la erosión. A estos espigones se les llama generalmente retardadores (del flujo).
- Formación de un cauce más profundo, con fines de navegación. A estos espigones se les llama deflectores.
- Desviar u orientar la corriente. Se usan en problemas especiales.

Puede haber también espigones que cumplan los dos primeros objetivos. Se les llama retardadores-deflectores.

### **2.7.2 Funciones:**

Las funciones de los espigones dependen del objetivo que se busque, pero en líneas generales pueden ser las siguientes:

- Reducir la velocidad de la corriente cerca de la orilla.
- Desviar, es decir, alejar, la corriente de la orilla
- Prevenir la erosión de las márgenes
- Establecer y mantener un ancho fijado para el río
- Fijar las márgenes, es decir, estabilizar el cauce fluvial
- Controlar la migración de meandros
- Creación del efecto de curva en una bocatoma
- Otras.

## **2.8 Mantenimiento:**

Las defensas por medio de espigones requieren de mantenimiento continuo, especialmente después de cada avenida importante. Una de las ventajas de este sistema de defensas es que el diseño puede irse mejorando, como parte de las labores de mantenimiento y como consecuencia de las observaciones que se realicen de su funcionamiento.

La reparación y el mantenimiento de los espigones se hacen durante el estiaje

## CAPITULO 3

### DISEÑO ESTRUCTURAL

#### 3.1 LOCALIZACION GEOGRÁFICA:

El proyecto se encuentra ubicado en el Municipio de Boca del rio Veracruz, en la escollera norte y sur de playa Private, a la altura de la avenida Medico Militar. Se tiene como referencia el Oxxo y el establecimiento de comida “Las velitas”. A continuación se esquematiza la ubicación del proyecto.



Fig. 22 Ubicación Geográfica

### 3.2 ZONA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO:

La zona de influencia del proyecto es en primer plano, el Golfo de México que incluye la zona de Miami; así mismo las embarcaciones de la zona del Caribe también pueden ser clientes potenciales para el proyecto. Con menor influencia las embarcaciones provenientes de Canadá y Sudamérica



Fig. 23 Zona de influencia

### 3.3 Definición del clima de oleaje extremal:

Para la caracterización del oleaje extremal se utilizó el método conocido como “máximos sobre un umbral”. Se tomaron tres umbrales distintos, según las características del oleaje registrado en el sitio de interés, y los datos correspondientes se ajustaron por mínimos cuadrados a distintas distribuciones de probabilidad. Se eligió la que se ajustó adecuadamente a los datos de oleaje extremo producidos por las simulaciones numéricas, y se calcularon las alturas de ola de diseño en aguas profundas para distintos períodos de retorno (5, 10, 25, 50 y 100 años).

PERIODO DE RETORNO $T_r$ (años)	ALTURA DE OLA $H_{1/3}$ (m)	PERIODO $T_p$ (seg)
5	4.07	8.07
10	4.43	8.42
25	4.90	8.86
50	5.26	9.17
100	5.62	9.48

Tabla 1 Altura de diseño y período pico en aguas profundas para diferentes períodos de retorno.

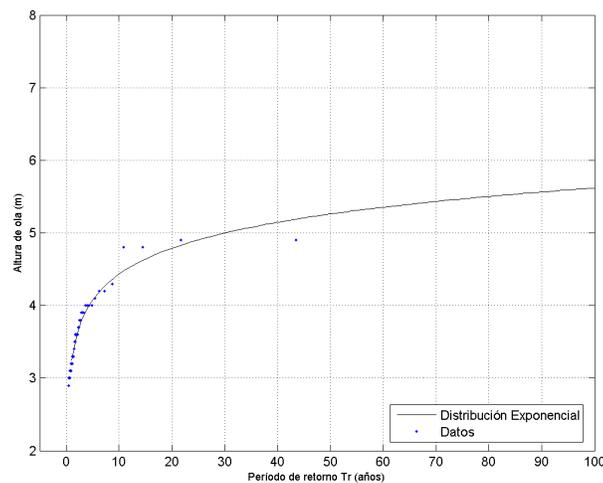


Tabla 2 Distribución de las de altura de ola en aguas profundas contra distintos período de retorno.

### 3.4 DEFINICIÓN DE LA ALTURA DE OLA DE DISEÑO EN AGUAS PROFUNDAS:

De acuerdo con los resultados de la figura 4.3, y considerando un período de retorno de 50 años, la altura de ola de diseño en aguas profundas para las obras de protección de la marina de estudio, fue de 5.26 m con un período pico asociado de 9.17 seg.

Los valores de la altura y del período de ola antes señalados, se utilizaron para calcular la sobreelevación del nivel del mar por marea de tormenta de la zona de estudio metodología de cálculo que se indica en el siguiente apartado.

### 3.5 CÁLCULO DE LA SOBREELEVACIÓN DEL NIVEL DEL MAR POR MAREA DE TORMENTA:

La determinación del nivel máximo de ascenso del mar por marea de tormenta se realizó utilizando el criterio propuesto por el Shore Protection Manual, el cual se aplica en la siguiente metodología:

- a) Cálculo de la sobreelevación del nivel del mar, por el ascenso de la ola  $S_w$ .

$$S_w = 0.19 \left[ 1 - \left( \frac{H_b}{gT^2} \right)^{1/2} \right] H_b$$

Donde:

$S_w$  ; Ascenso de la ola, en m.

$H_b$  ; Altura de la ola rompiente, en m.

$g$  ; Aceleración de la gravedad, en m/seg.

$T$  ; Período del oleaje, en seg.

- b) Ascenso producido por la marea de viento

Al valor obtenido en la ecuación No. 4.1 se le añade el ascenso producido por la marea de viento, en la dirección del oleaje extraordinario.

El ascenso producido por marea de viento  $S_P$  en pies, se calcula con la siguiente ecuación:

$$S_P = S_I + F_M$$

Donde:

$S_P$  ; Ascenso producido por la marea de viento, en pies

$S_I$  ; Valor determinado de la grafica No. 4.1

$F_M$  ; Valor determinado de la grafica No. 4.2

c) Cálculo de  $S_{P_{MAX}}$ .

Para el cálculo del máximo ascenso producido por marea de viento, se utiliza la ecuación No. 4.3, pero seleccionando el factor  $F_M$  de tal modo que resulte máximo, es decir con un ángulo  $\Psi$  próximo a  $80^\circ$ .

$$S_{P_{MAX}} = 0.3048 * F_{M_{MAX}} * S_I$$

d) Máximo nivel.

Para determinar el valor máximo del nivel del mar se debe comparar el resultado obtenido de la ecuación No. 4.2 con la ecuación No. 4.3, el primero resulta mayor que el segundo, el máximo nivel de ascenso del mar se encontrará haciendo.

$$\Delta Z_T = Z_{MA} + (S_P + S_W)$$

En caso contrario, el máximo nivel de ascenso valdrá.

$$\Delta Z_T = Z_{MA} + S_{P_{MAX}} \quad (4.5)$$

En estas formulas  $Z_{MA}$  es la máxima semiamplitud de la marea astronómica.

Para calcular la sobreelevación del nivel del mar por marea de tormenta, se utilizó la información de oleaje extremal de la Tabla 4.7 para un período de retorno de 50 años.

e) Cálculo de sobreelevación del nivel del mar para un período de retorno de 50 años.

Calculo de  $S_w$

$$S_w = 0.19 \left[ 1 - \left( \frac{H_b}{gT^2} \right)^{1/2} \right] H_b$$

De la Figura 4.4 con la siguiente relación:

$$\frac{H_0}{L_0} = \frac{5.26}{1.56(9.17)^2} = \frac{5.26}{131.18} = 0.040, \text{ se obtiene lo siguiente:}$$

$$\frac{H_b}{H_0} = 1.06 \text{ donde } H_b = 5.5 \text{ m}$$

Sustituyendo los valores anteriores en la ecuación No. 4.1, se obtiene:

$$S_w = 0.19 \left[ 1 - \left( \frac{5.5}{9.81(9.17)^2} \right)^{1/2} \right] 5.5$$

$$= 0.96 \text{ m}$$

Calculo de  $S_p$

$$S_p = S_I + F_M$$

$S_I$ , se obtiene de la Figura 4.5 con los valores de  $R=10.53$  M.N. y  $\Delta_p=17.32$  mb; donde  $R$ , es el radio de viento máximo y  $\Delta_p$ , es la depresión causada por los ciclones que han pasado cerca de la costa de la zona de estudio.

$$S_I = 3.4 \text{ pies}$$

$F_M$ , se obtiene de la Figura 4.6 con los valores de  $V=17.94$  M.N./Hr y  $\Psi=60^\circ$  donde  $V$ , es la velocidad del viento generado por los ciclones en millas náuticas por hora y  $\Psi$ , es el ángulo de incidencia con respecto a la costa del oleaje ciclónico.

$$F_M = 1.05$$

$$S_p = S_I + F_M$$

$$S_P = 3.4 + 1.05 = 4.45 \text{ pies}$$

$$S_P = 1.35 \text{ m}$$

Cálculo de  $S_{PMAX}$  :

$$S_{PMAX} = 0.3048 * F_{MMAX} * S_I$$

$$S_{PMAX} = 0.3048 * 1.1 * 3.4$$

$$S_{PMAX} = 1.14 \text{ m}$$

El máximo nivel del mar se expresa con la ecuación:

$$\Delta Z_T = Z_{MA} + (S_P + S_W)$$

Para la amplitud de la pleamar máxima registrada

$$\Delta Z_T = 0.85 + (1.35 + 0.96)$$

$$\Delta Z_T = 3.16 \text{ m}$$

para la amplitud de la pleamar media registrada

$$\Delta Z_T = 0.261 + (1.35 + 0.96)$$

$$\Delta Z_T = 2.71 \text{ m}$$

La sobreelevación del nivel del mar para un periodo de retorno de 50 años, bajo la acción de la pleamar máxima registrada, es de 3.16 m.

La sobreelevación del nivel del mar, para un período de retorno, bajo la acción de la pleamar media registrada, es de 2.71 m.

Considerando una sobreelevación promedio producida por las condiciones de pleamar máxima y de pleamar media resultó de 2.90 m respecto al Nivel de Bajamar Media (NBM) con elevación de 0.00 m.

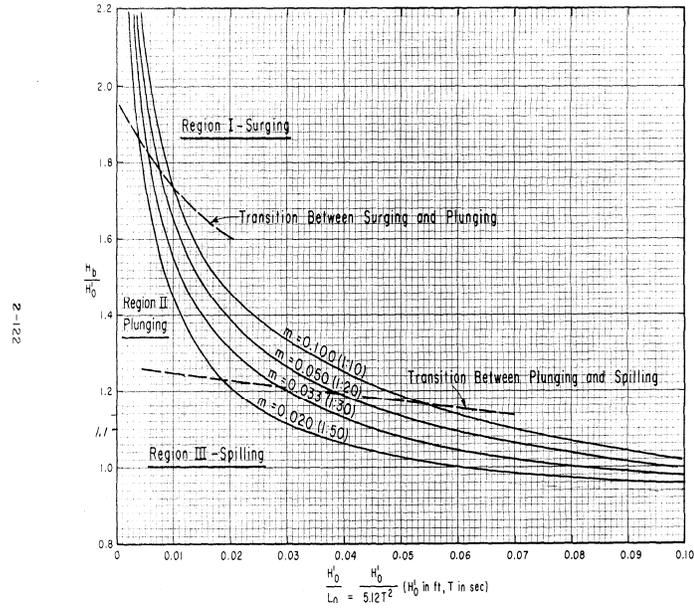


Figura 24 Grafica para el cálculo de la altura de ola rompiente.

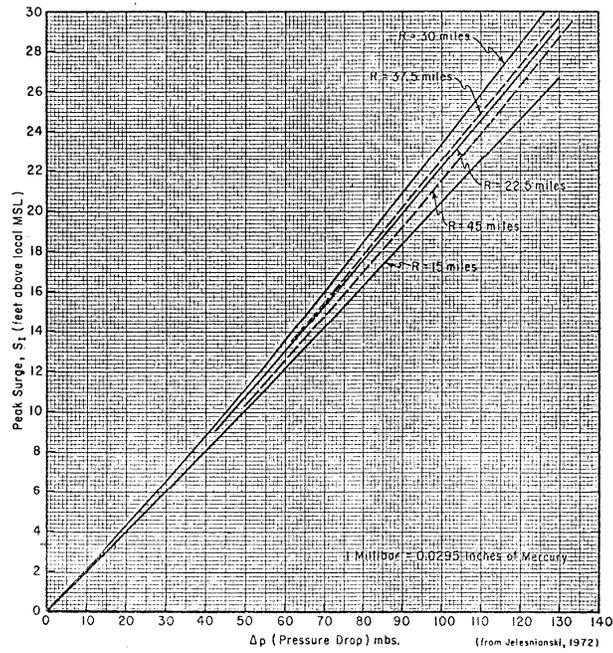


Figura 25 Grafica para el cálculo de ascenso del nivel del mar por el efecto de la presión atmosférica.

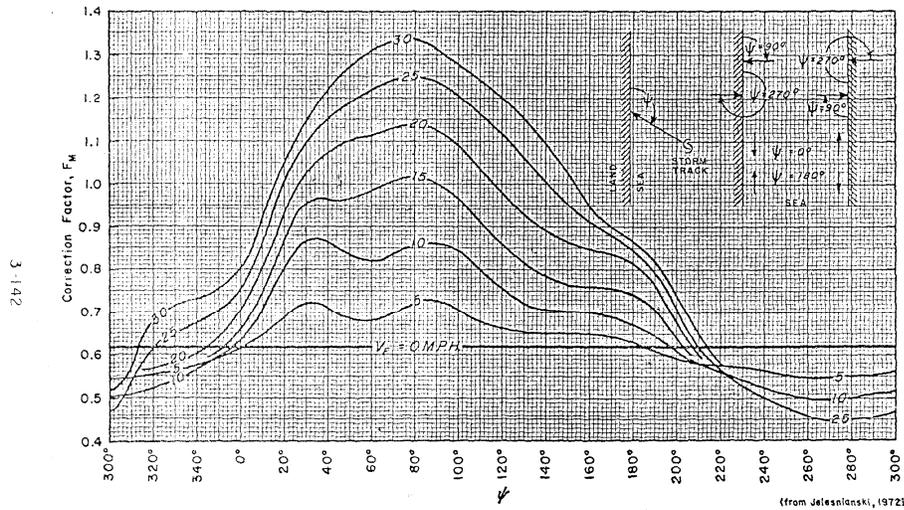


Figura 26 Grafica para determinar el valor del factor de corrección F<sub>M</sub> en función de la velocidad y dirección del viento máximo.

### 3.6 PROYECTO EJECUTIVO DE LAS ESCOLLERAS

#### 3.6.1 Oleaje de diseño:

Tomando como base los resultados del estudio de refracción del oleaje ciclónico y cuyos resultados se muestran en el anexo 1, las alturas de ola consideradas para el diseño de rompeolas

Longitudes de proyecto consideradas para la construcción de una escollera ubicada en Boca del Río

Para el proyecto de los rompeolas se considero una estructura formada por núcleo, capa secundaria y coraza de piedra.

Rompeolas Norte		
Sección	Altura de ola de diseño lado exterior (m)	Altura de ola de diseño lado interior (m)
Morro	3.96	3.96
Cuerpo Tramo III	3.96	1.98
Cuerpo Tramo II	3.55	1.54
Cuerpo Tramo I	3.21	1.54

Tabla 3 Altura de Ola para diseño

### 3.6.2. Diseño Estructural:

El peso específico considerado para los elementos de piedra fue de  $\gamma_w = 2.60 \text{ t/m}^3$

El coeficiente de estabilidad de los elementos de protección (piedra colocada al azar) a utilizar en el diseño será de  $K_d = 3.5$  para el cuerpo y  $K_d = 2.9$  para el morro (para ola rompiente)

El talud considerado para este proyecto de escollera fue de 1.5:1, para la coraza  
Las longitudes consideradas de morro y cuerpo para:

Rompeolas Norte	
Sección	Longitud (m)
Morro	20.00
Cuerpo Tramo III	76.50
Cuerpo Tramo II	26.00
Cuerpo Tramo I	32.30

Tabla 4 Longitud del rompeolas norte

#### 3.6.2.1 Profundidad de rompiente (db) y altura de rompiente (Hb) (SPM, 1984):

Esta se calculó utilizando los resultados del estudio de naturaleza del oleaje: altura de ola en aguas profundas ( $H_o$ ), periodo, longitud de onda (aguas profundas  $L_o$ ) y la pendiente de la playa.

#### 3.6.2.2 Talud de la estructura:

Por consideraciones prácticas se utilizó el valor entre el rango  $1.5 \leq C \leq 3$ , donde  $C$  es la pendiente propuesta de la estructura (Chasten, *etal.*, 1993 y García-Flores, 1988), ya que pendientes mayores generan deslizamientos y menores aumentan costos, por ello se recomienda que  $C = 2$  (García-Flores, 1988). De aquí se calculó el ángulo del talud de la estructura con la siguiente ecuación:

$$\alpha = \text{Tan}^{-1}\left(\frac{1}{C}\right) \quad (4)$$

donde  $\alpha$  = ángulo del talud de la estructura.

Quedando un valor de  $\alpha$  es de 26.56°

### 3.6.2.3 Tamaño de la roca:

Se analizó el tipo de elementos según las condiciones de diseño, disponibilidad y capacidades del equipo de construcción (SPM,1984). Tomando el criterio de los rompeolas convencionales

Diseño de los rompeolas de protección del Atracadero se realizó con la formula de Houston de la siguiente manera:

a) Cálculo del peso de los elementos de los rompeolas.

$$W = \frac{\gamma_s H^3}{K_{\Delta} (S_r - 1)^3 \cot \alpha}$$

Donde:

W es el peso del elemento de coraza, en ton.

$\gamma_s$  es el peso específico del elemento de coraza.

$K_{\Delta}$  es el coeficiente de estabilidad.

$S_r$  es la densidad relativa del material, definida como:

$$S_r = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{2.60}{1.03} = 2.52 \text{ ton/m}^3$$

$\gamma_w$  es el peso específico del agua de mar = 1.03 ton/m<sup>3</sup>.

$\alpha$  Es el ángulo que forma el talud de la estructura con la horizontal.

H es la altura de ola de diseño en el sitio, en m.

Sustituyendo los valores en la formula quedando del siguiente modo:

$$W = \frac{\gamma_s H^3}{K_{\Delta} (S_r - 1)^3 \cot \alpha}$$

$$W = \frac{2.60(62.099136)}{2.9(3.511808)(2.0004)} = \frac{161.4577}{20.3729} = 7.9 \approx 8.00 \text{Ton.}$$

Por recomendación de Shore Protection Manual de 1977, el rango de pesos de la coraza debe ser de ( $W \cdot 1.25$ ) a ( $W \cdot 0.75$ ).

Entonces tomando en consideración la recomendación tomamos el valor de de 8.00 ton. Quedando:

8.00 Ton x 1.25 = 10 ton.

8.00 Ton X 0.75 = 6 ton.

El peso de la coraza exterior va de 10 ton a 6 ton. Ahora ya se calculo el peso de la roca que será utilizada en el Morro en la parte exterior ahora se calculara el W del morro en la parte interior

Sección	Altura de ola de diseño lado exterior (m)	Altura de ola de diseño lado interior (m)
Morro	3.96	3.96

Tabla 5 Altura de diseño para el morro

Altura de ola de diseño lado interior (m) es de 3.96 igual que la altura de ola de diseño exterior por lo tanto El peso de la coraza interior va de 13.85 ton a 8.31 ton. Se procede a calcular los tramos de la coraza del espigón

Sección	Altura de ola de diseño lado exterior (m)	Altura de ola de diseño lado interior (m)
Cuerpo Tramo III	3.96	1.98
Cuerpo Tramo II	3.55	1.54
Cuerpo Tramo I	3.21	1.54

Tabla 6 Altura de ola de diseño para los tramos de coraza

El coeficiente de estabilidad de los elementos de protección (piedra colocada al azar) a utilizar en el diseño será de  $K_d = 3.5$  para el cuerpo.

Altura de ola de diseño lado interior (m) es de 3.96 igual que la altura de ola de diseño exterior por lo tanto El peso de la coraza interior va de 13.85 ton a 8.31 ton

Calculando Cuerpo Tramo III lado interior de 1.98 mts

Usando la formula

$$R_p = \frac{R_c}{H_s \left( \frac{S_{op}}{2\Pi} \right)^{0.5}} = \frac{2}{6.6 \left( \frac{0.025}{2(3.1416)} \right)^{0.5}} = \frac{41.46912}{1607.2704} = 0.025$$

Sustituyendo valores tenemos

$$W = \frac{\gamma_s H^3}{K_\Delta (S_r - 1)^3 \cot \alpha} = \frac{2.60(1.98)^3}{3.5(2.52 - 1)^3 (2)} = 0.821 \text{ ton}$$

Efectuando cálculos de rango

$$0.821 \text{ ton} \times 1.25 = 1.03 \text{ ton}$$

$$0.821 \text{ ton} \times 0.75 = 0.615 \text{ ton}$$

Lo mismo se repetirá en Tramo II y Tramo I quedando del siguiente modo

Sección	lado exterior	lado interior
Cuerpo Tramo III	8.20 ton a 4.92 ton	1.03 ton a 0.615 ton
Cuerpo Tramo II	5.91 ton a 3.58 ton	0.50 ton a 0.30 ton
Cuerpo Tramo I	4.3 ton a 2.62 ton	0.50 ton a 0.30 ton

Tabla 7 tamaño de rocas lado exterior e interior.

Con esta fórmula el rompeolas se diseña para sufrir un deterioro estructural del 0 al 5 % bajo las condiciones de ola de diseño, esto significa que las olas impactan sobre la estructura y no pasan sobre la corona. Sin embargo, los rompeolas de corona baja sufren menor deterioro debido a que gran parte de la energía de la ola pasa por arriba del rompeolas. Para obtener el diámetro de la roca cuando la estructura es sobrepasada se multiplica el diámetro de la roca encontrado por un factor de reducción.

### 3.6.2.4 Factor de reducción (r). Para Dn50 Van der Meer (1991):

$$r = \frac{1}{(125 - 4.8 * R_p)}$$

Para  $0 < R_p < 0.052$

Donde 
$$R_p = \frac{R_c}{H_s \left( \frac{S_{op}}{2\Pi} \right)^{0.5}}$$

$R_c$  = nivel de la corona relativo al nivel del mar

$S_{op}$  = pendiente ficticia de la ola 
$$I_s = e^{\left(1.72 - 0.41 \left( \frac{L_s}{x} \right)\right)} \left( \frac{2\Pi H_s}{g T_p^2} \right)$$

$T_p$  = período de la ola pico

### 3.6.2.5. Ancho de la cresta. (SPM, 1984):

Esta depende de las características constructivas de la sección del rompeolas, recomendándose en general la siguiente ecuación:

$$B = 3K_A \left( \frac{W}{\delta_r} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

B es el ancho de la corona

$K_A$  coeficiente de capa

W es el peso de los elementos

$\delta_r$  es la densidad de la roca

### 3.6.2.6. Número de elementos:

Se calculó para obtener el número de rocas requeridas para cubrir cierta área utilizando la siguiente relación:

$$N_a = 3K_A \left[ 1 - \left( \frac{P}{100} \right) * \left( \frac{\delta_r}{W} \right) \right] * A \quad (8)$$

donde:  $N_a$  es el número de rocas requeridas

$N = 3$  número de elementos (2 como mínimo)

$K_A$  coeficiente de capa

$W$  es el peso de los elementos

$A$  es el área a cubrir

$P$  es la porosidad

$\delta_r$  es la densidad de la roca

### 3.6.2.7. Estabilidad de la estructura:

Los cambios en la altura de la cresta son debidos al ataque de las olas sobre la estructura. Para calcular la estabilidad se utiliza el número de estabilidad ( $N_s$ ) propuesto por Ahrens, 1989:

$$N_s = \frac{H^{\frac{2}{3}} L_p^{\frac{1}{3}}}{\Delta D_{n50}}$$

donde :

$N_s$  = número de estabilidad

$H$  = altura de la ola

$L_p$  = longitud de ola de Airy ( $L = T \sqrt{gh}$ )

$\Delta$  = densidad relativa de la roca  $\left( \frac{\delta_r}{\delta_w - 1} \right)$

$\delta_r$  = densidad de la roca

$\delta_w$  = densidad del agua

$D_{n50}$  = diámetro nominal de la roca  $\left( \frac{W_{50}}{\delta_r} \right)^{\frac{1}{3}}$

### 3.6.2.8. Reducción de la altura de la cresta:

Es el resultado de la altura de la cresta al final de un evento extremo, se calcula por (Ahrens, 1989):

$$h_c = \sqrt{\frac{A_t}{a^{e^{(NS)}}}}$$

donde :  $A_t$  = área transversal de la estructura  $(Bh_c + Ch_c^2)$

$$a = -0.028 + 0.045C + \frac{0.043h_c'}{h - 6 \times 10^{-10} B_n^2}$$

$h_c'$  = altura de la estructura

$C$  = pendiente promedio de la estructura al construirla (rango normal  $1.5 \leq C \leq 3$ )

$B_n$  = número de bulto  $\left( \frac{A_t}{D_{n50}^2} \right)$

$B$  = ancho de la corona (generalmente tomado de  $3D_{n50}$ )

### 3.6.2.9. Coeficiente de transmisión:

Los rompeolas de corona baja presentan una transmisión de energía a través y por arriba de la estructura siendo este último el más importante.

El método desarrollado por Ahrens (1987) se basa en el criterio

$$\frac{R_c}{H} < 1.04$$

$$K_t = \frac{1}{1 + \left( \frac{h_c}{h} \right)^{1.188} \left( \frac{A_t}{hL_p} \right)^{0.261} \left[ 0.529 \left( \frac{R_c}{H} \right) + 0.00051 \left( \frac{A_t^{\frac{3}{2}}}{D_{n50}^2 L_p} \right) \right]}$$

### 3.6.2.10 Coeficiente de reflexión:

Los rompeolas de enrocamiento de cresta baja debido a su alta porosidad, textura rugosa y perfiles suaves presentan un coeficiente de reflexión bajo. Estas características son importantes porque reducen la erosión en la base de la estructura, problemas de navegación y la erosión cercana a la costa por las olas reflejadas.

El coeficiente de reflexión (Ahrens ,1987) se calcula:

$$K_r = e^{\left[ -6.774 \left( \frac{h}{L_p} \right) + \left( \frac{-0.293}{\frac{h_c}{h}} \right) + \left( -0.086 \left( \frac{h_t}{h_c^2} \right) + 0.0833 \left( \frac{R_c}{H} \right) \right) \right]}$$

### 3.6.2.11. Run-up / Run-down:

El *Run-up* (Ru) de una ola se define como la altura máxima del agua arriba del nivel medio del mar que alcanza en la pendiente de la estructura. Mientras que el *Run-down* (Rd) es la altura máxima del nivel de agua por arriba o debajo del nivel medio del mar en el punto más bajo de la retirada de la ola en la pendiente de la estructura. De acuerdo a Bruun, *et al.*, (1977) Ru y Rd están relacionados con el tipo de rompimiento que tiene la ola, este parámetro se define:

$$\xi_b = \tan \alpha \sqrt{\frac{Hb}{L_o}}$$

en donde  $\xi_b^*$  indica el tipo de rompiente:

$2.0 < \xi_b^*$  *surging* o *collapsing* (colapso)

$0.4 < \xi_b^* < 2.0$  *plunging* (tubo)

$< \xi_b^* < 0.4$  *spilling* (derrame)

\* únicamente para la zona de rompiente.

Así el Rd se obtiene mediante la ecuación:

$$Rd = Ru(1 - 0.4\xi_b)$$

Donde Ru:

$$R u = \left( \frac{2.3 * \tan \alpha}{\sqrt{\frac{H m o}{T^2}}} \right) * H m o$$

$\tan \alpha$  = pendiente de la playa

### 3.7. Diseño funcional

#### 3.7.1. Sedimentos en la playa:

Para la zona de estudio el material aportado por los cantiles y que esta en suspensión se encuentra en el rango de 3.5 phi (Cruz-Colín y Cupul-Magaña, 1997).

Para encontrar la altura de ola necesaria para poner en suspensión a las partículas mayores a 3.5 phi se utilizó la siguiente relación:

$$W_s < U_m S$$

donde :

$W_s$  = es la velocidad de autosuspensión

$U_m$  = es la velocidad horizontal de las partículas  $\frac{H\sqrt{gh}}{2h}$

$S$  = es la pendiente de la playa ( $\tan \alpha$ )

#### 3.7.2 Formación de salientes y tómbolos:

El tipo de respuesta que tendrá la playa con respecto a la estructura depende principalmente del oleaje que es transmitido por encima de la estructura al lado protegido de esta, además de la longitud del rompeolas ( $L_s$ ) y la distancia a la que se encuentra de la costa ( $X$ ). Se evalúa con el índice de respuesta de la playa ( $I_s$ ) :

$$I_s = e^{\left( 1.72 - 0.41 \left( \frac{L_s}{x} \right) \right)}$$

donde :  $I_s$  es el índice de respuesta de playa

Si:  $I_s = 1$ , formación permanente de tómbolo

$I_s = 2$ , tómbolos periódicos

$I_s = 3$ , saliente bien desarrollada

$I_s = 4$ , saliente suavizada

$I_s = 5$ , no hay sinuosidad

Índices propuestos por Pope y Dean (1986) y Ahrens y Cox (1990).



Fig 27 Prolongacion del rompeolas a diseñar

## **CAPITULO IV METODO CONSTRUCTIVO**

### **4. METODOS CONSTRUCTIVOS Y ASPECTOS GENERALES.**

En este capitulo vamos a narrar con la mayor claridad posible el proceso constructivo de esta obra. Pero primero debemos de contar con lo siguiente:

1. Grandes volúmenes de obra.
2. Disponibilidad de materiales.
3. Disponibilidad de equipos.
4. Exposición a las olas durante ejecución (previsión a +36 h).
5. Uso de plan de obra
6. Especificar plan de obra reparación y mantenimiento

### **4.1 METODOS CONSTRUCTIVOS –EJECUCIÓN NÚCLEO -**

1. Vertido directo.
2. Debe disponerse según secciones.
3. El material más grueso debe ser uniformemente distribuido.
4. Núcleo debe gradarse evitando finos y frágiles.e
5. Gradación del centro a periferia (10 kga 2 t).
6. Chequeo: se debe perfilar siempre.

### **4.2 METODOS CONSTRUCTIVOS –CONTROLES EN LA CONSTRUCCION**

1. Cada cambio de capa debe ser certificado.
2. Perfiles de control (cada 10 m o en zonas de cambio).
3. En el núcleo: gradación del peso (caída).
4. Mantos: cumplimiento de taludes de proyecto sin irregularidades (peligro para la navegación).
5. Asientos: controles geotécnicos.
6. Turbidez: control y minoración al máximo.

### 4.3 METODOS CONSTRUCTIVOS –TOLERANCIAS -

1. En el núcleo: gradación del peso (caída).
2. Mantos: cumplimiento de taludes de proyecto sin irregularidades (peligro para la navegación).a
3. Asientos: controles geotécnicos.
4. Turbidez: control y minoración al máximo.

### 4.4. Perfiles

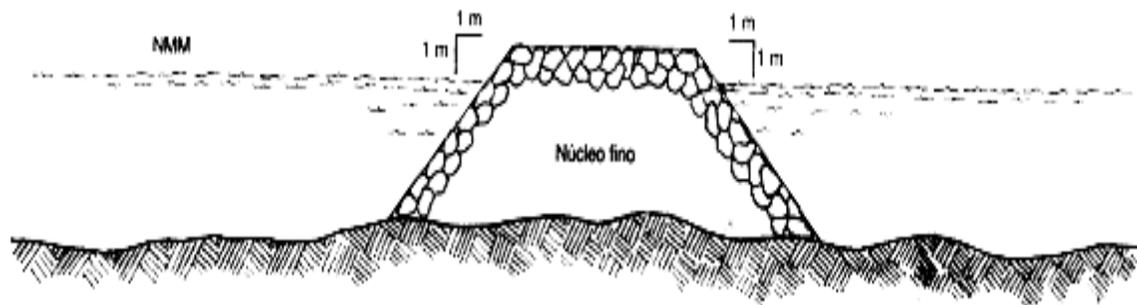


Figura 31a  
Sección transversal.

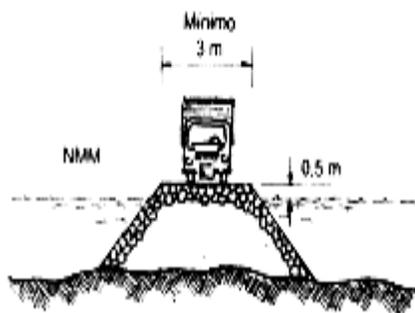


Figura 31b  
Vertido con camión.

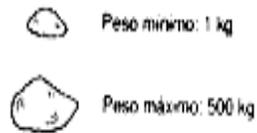


Figura 31c  
Vertido con camión.

Fig.28 colocacion de nucleo de escollera.

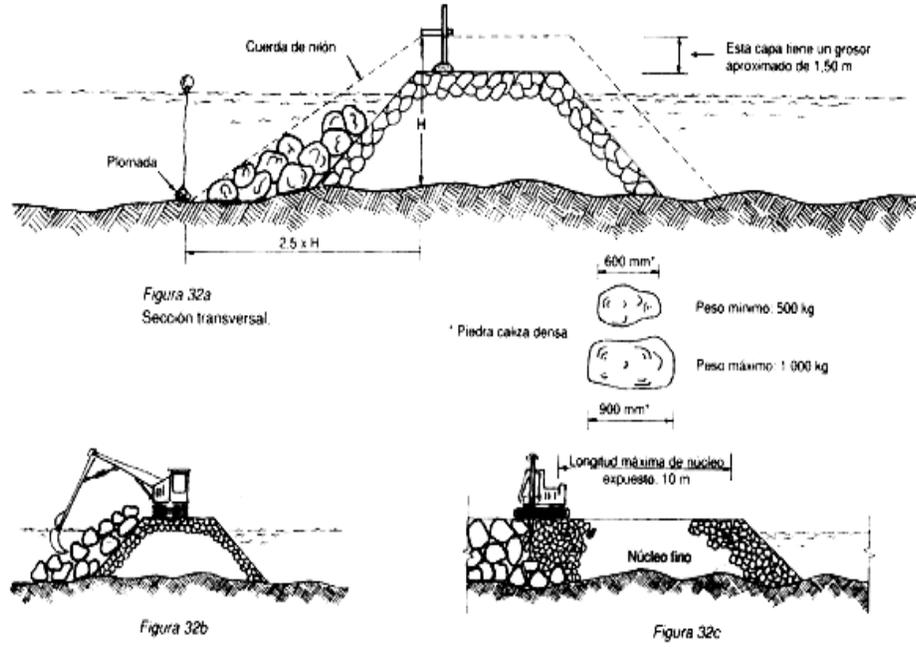


Fig. 29 colocacion de capa inferior

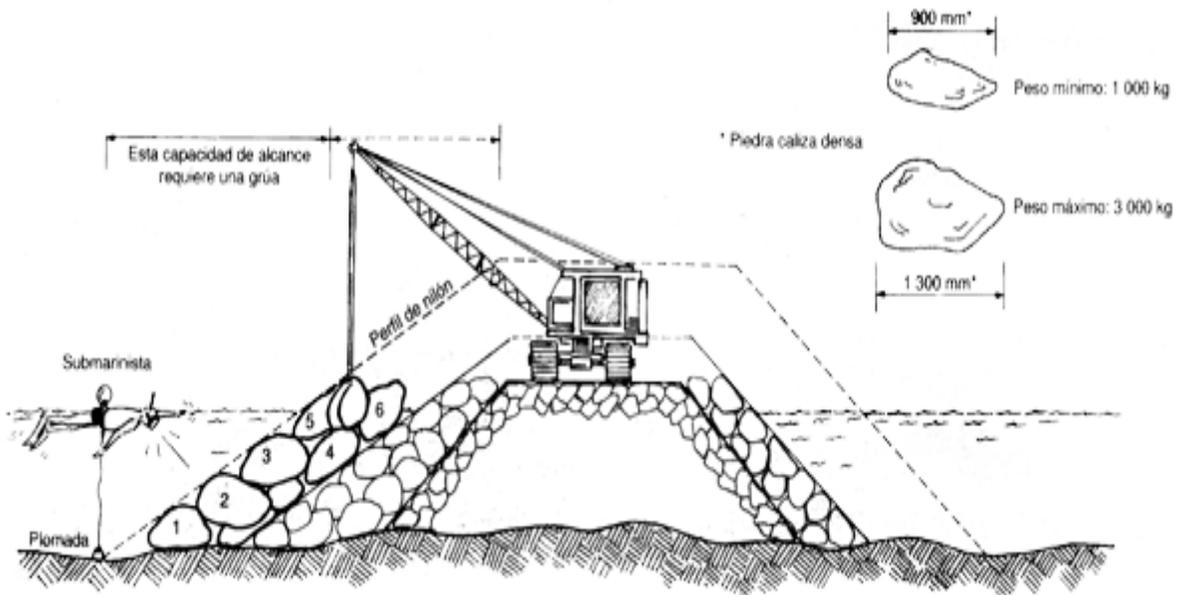


Fig 30 colocacion de la capa principal de proteccion

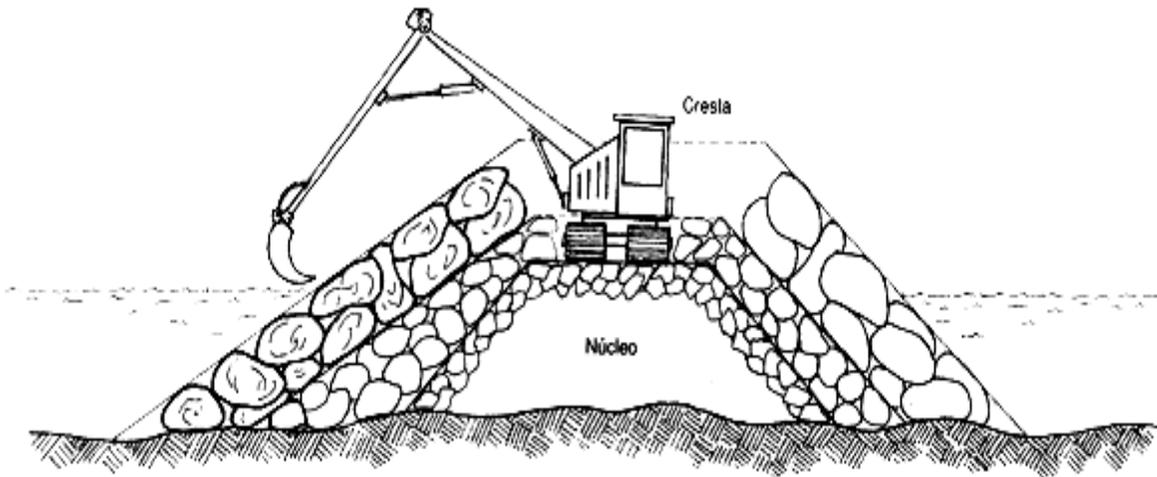


Fig.31 Excavadora hidráulica colocando la escollera sobre la cresta

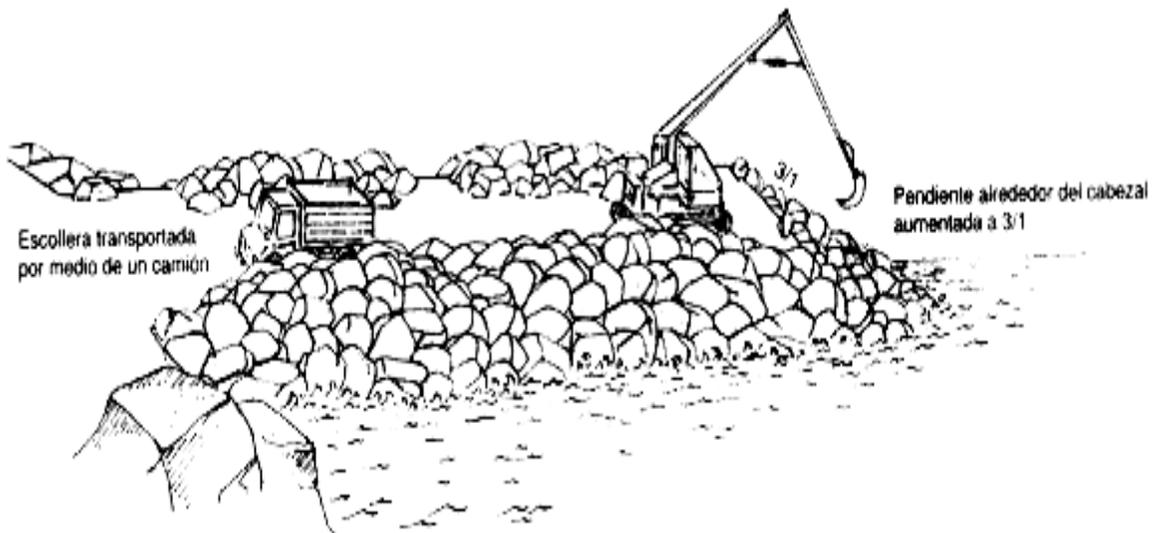


Fig. 32 La misma máquina dando marcha atrás y cerrando la cresta al mismo tiempo.

#### 4.5. METODOS CONSTRUCTIVOS –TIPOS –

1. Vía marítima: Uso de gánguiles pontonas y dragas.
2. Vía terrestre: Uso de tráfico rodado. El núcleo siempre corona inicialmente por encima de nivel del mar.
3. Operaciones mixtas: útil para realizar parte sumergida y finalización de obra.

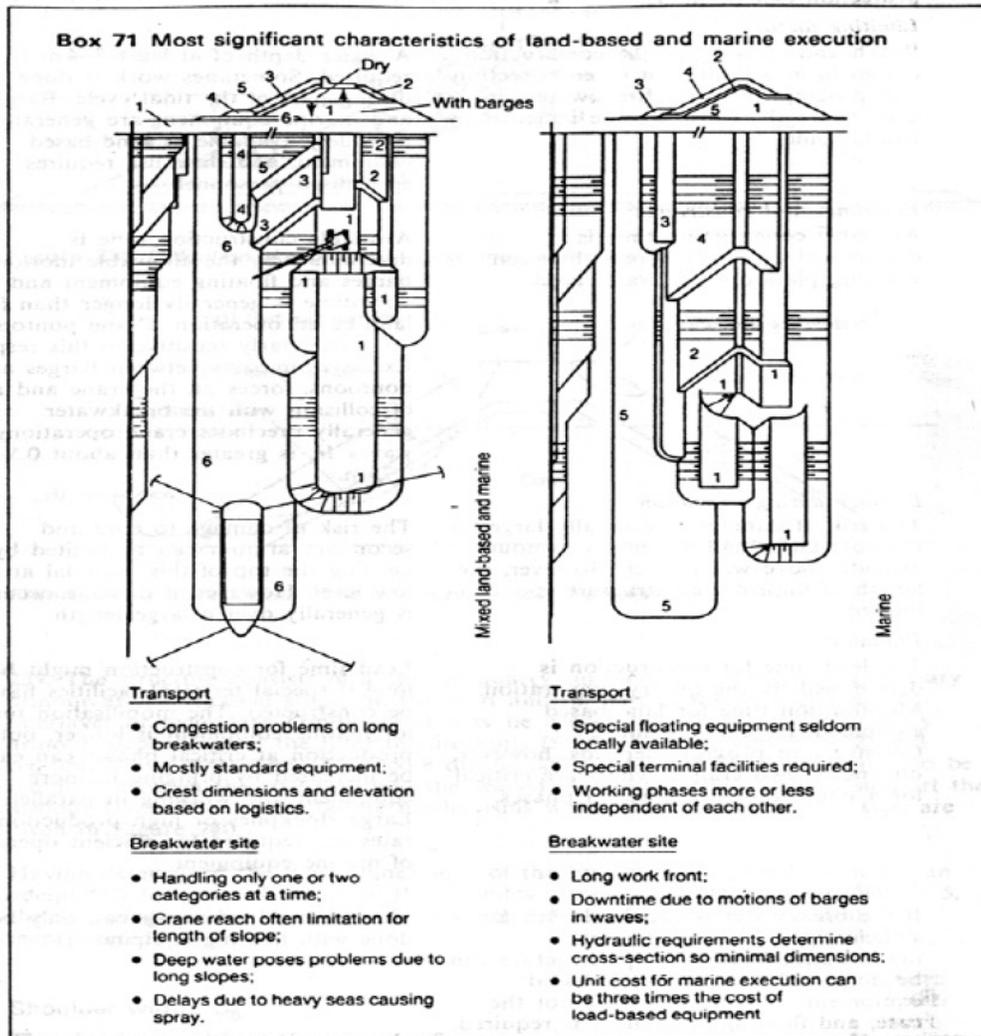


Fig 33 Taladro marino

#### **4.5.1 METODOS CONSTRUCTIVOS VIA MARITIMA**

Tipos de gánguiles: depende de la carga total a verter, tamaño de escollera y oscilaciones del nivel del mar.

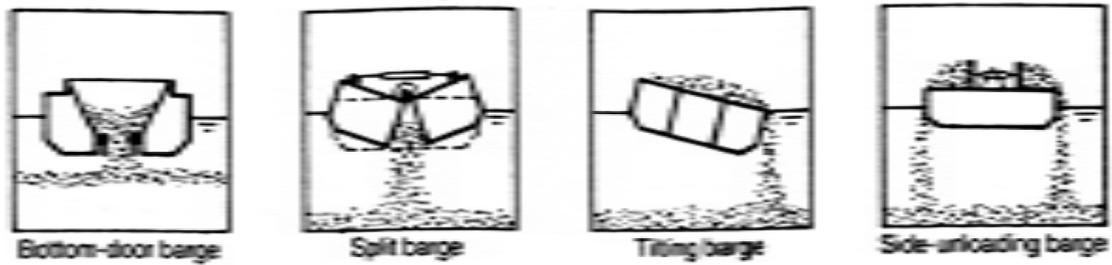


Fig 34 tipos de vertido de material en suelo maritimo

1. Gánguil de cono: gran capacidad.
2. Gánguil de volcado: Basculación por lastres
3. Gánguil ordinario: Pontona con maquinaria terrestre.
4. Gánguil de empuje: con mecanismo.
5. Gánguil de bisagra: gran capacidad.



Fig 35 Tipos de Ganguil

#### **4.5.1.1 METODOS CONSTRUCTIVOS PONTONAS**

Maquinaria marítima especializada. Disponemos de varios tipos y tamaños de pontonas para el dragado mediante retro, colocación de fondeos, transporte de maquinaria pesada. Las pontonas son imprescindibles para cualquier tipo de construcción marítima.



Dragatge amb pontona i gànguil

Fig 36 Pontonas

#### **4.6 MAQUINARIA A USAR:**

Hay varios tipos de equipo disponible para obras en el mar. Sin embargo, el alto coste de adquisición sitúa la mayor parte de este equipo fuera del alcance de las pequeñas cooperativas, contratistas artesanales y pequeños contratistas de obras de construcción en general. En esta publicación se presume que la mayor parte de la maquinaria pesada se obtendrá a través del gobierno o del ministerio de obras públicas, o contratistas locales. Antes de planificar la construcción de un proyecto marítimo sería de utilidad conocer de qué tipo y volumen de maquinaria de construcción se dispone en la vecindad de la aldea o del desembarcadero.

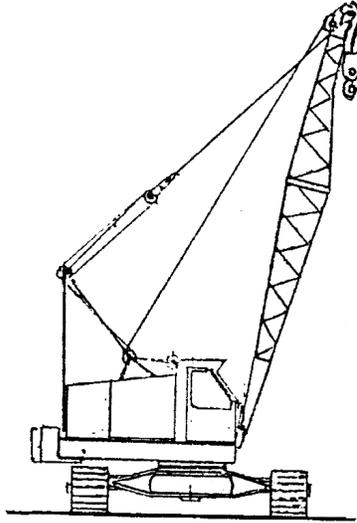


Fig. 37 Grúa de desplazamiento sobre orugas.

La Figura 37 muestra una típica grúa de desplazamiento sobre orugas. Como su nombre implica, una grúa sobre orugas se mueve hacia delante sobre orugas de acero. Este es el tipo más idóneo de grúa para la construcción de rompeolas debido a que es muy estable, no necesita patas de apoyo (los elementos estabilizadores que sobresalen del chasis en las grúas con ruedas de goma) y es menos dada a balancearse sobre una superficie desnivelada de escollera y caer al agua. La característica más importante es su capacidad nominal de izado, ya que ésta establecerá la distancia máxima a la que puede trabajar la grúa con una longitud de pescante determinada.

La Figura 38 muestra algunos elementos de izado que se pueden utilizar con una grúa de desplazamiento sobre orugas:

- Un gancho para rocas se utiliza para izar y colocar en su sitio piedras de gran peso.
- Un cucharón de almeja utilizado normalmente para dragar el fondo del mar. La mayor parte de los cucharones de almeja tienen un labio de metal dúctil (normalmente plomo) para que sean tan estancos al agua como sea posible; sin este labio, la mayor parte de los cucharones de almeja dejan escapar el agua y no se pueden utilizar para dragar arena fina, sedimento o barro. No se deben utilizar los cucharones de almeja para colocar peñascos en los rompeolas.
- Eslingas con un elemento de suelta rápida que permita al operador de la grúa soltar la piedra bajo la superficie del agua.

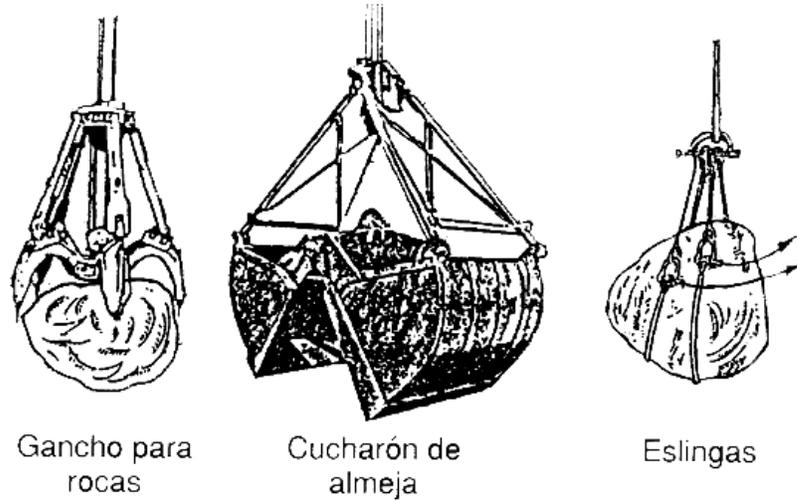


Fig. 38 Accesorios de izado.

La Figura 39 muestra una grúa de desplazamiento sobre orugas con un accesorio de draga por arrastre. Un accesorio de draga por arrastre consiste en una cubeta que se arrastra sobre la tierra o sobre el fondo del mar para la realización de operaciones de dragado.

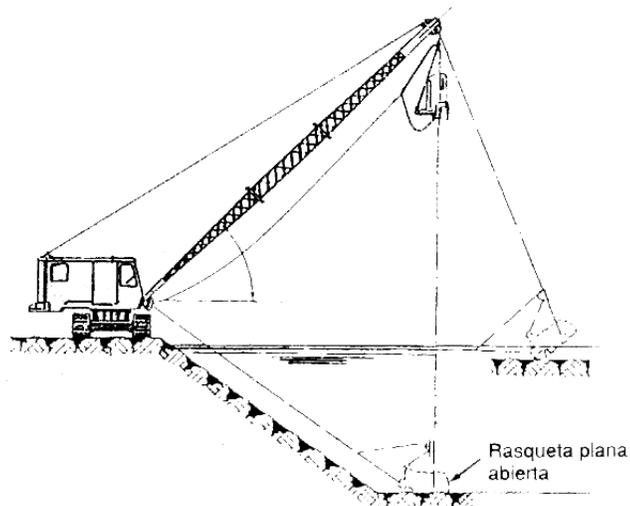


Fig. 39 Excavadora de cuchara de arrastre

El accesorio de draga por arrastre solía ser la forma corriente de dragado cerca de la orilla hasta que se empezó a utilizar la excavadora hidráulica (una máquina mucho más pequeña y mucho más compacta para su transporte en largas distancias).

La Figura 40 muestra una excavadora hidráulica. Esta máquina es en la actualidad la base de las obras marítimas, ya que gracias a su capacidad de adaptación con ella se realizan la mayor parte de las mismas.

La mayor parte de estas máquinas ofrecen cubetas y longitudes de brazo intercambiables; para el trabajo marítimo normal se requiere un brazo de gran longitud con el máximo alcance posible.

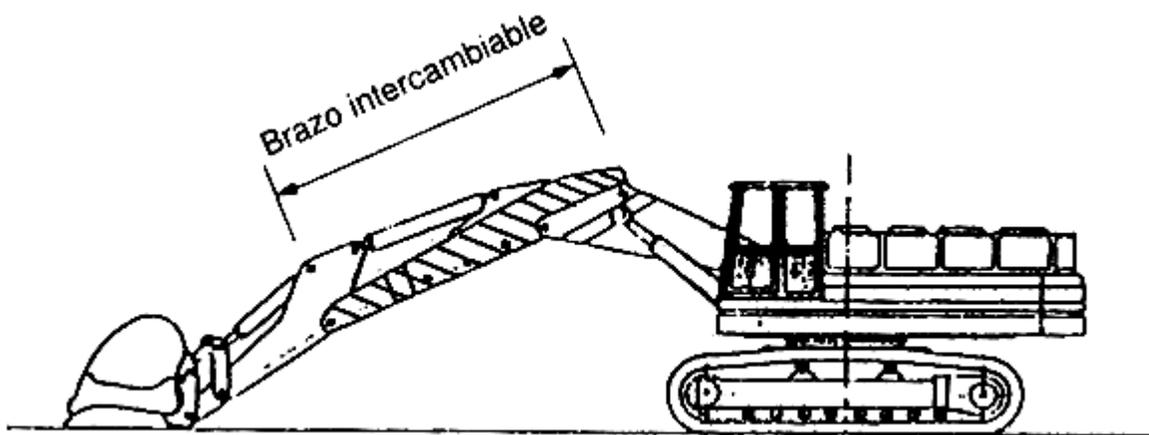


Fig. 40 Excavadora hidráulica.

El buldócer o *bulldozer* es un tipo de topadora que se utiliza principalmente para el movimiento de tierras, de excavación y empuje de otras máquinas. Aunque la cuchilla permite un movimiento vertical de elevación, con esta máquina no es posible cargar materiales sobre camiones o tolvas, por lo que el movimiento de tierras lo realiza por arrastre



Fig. 41 Bulldozer

Aparte de los trabajos realizados por la cuchilla, al *bulldozer* se pueden añadir equipos que aumenten su versatilidad.

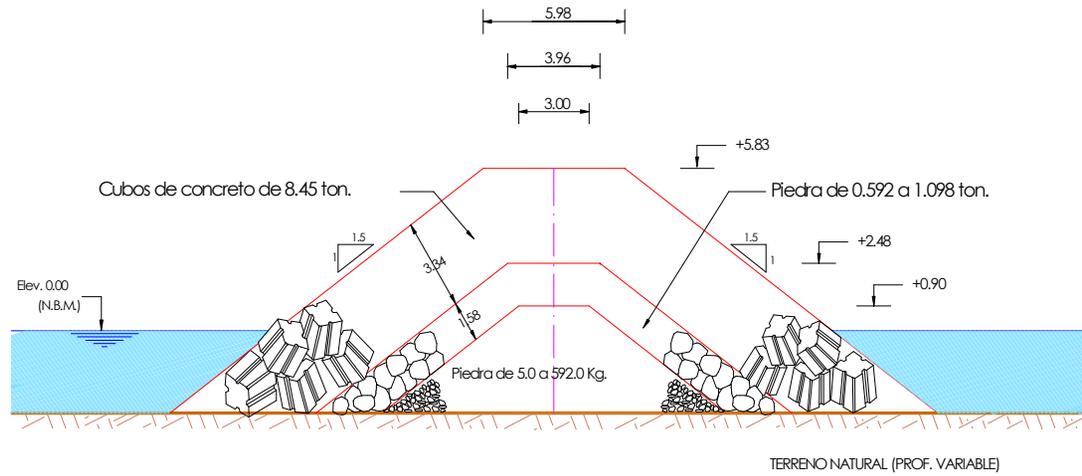
- **Escarificador o ripper:** Especie de reja, de arado, fijada fuertemente en la parte posterior que ejerce una acción de labrado para disgregar terrenos compactos y rocas semiduras.
- **Stumper:** Pico corto que acopla en vez de la cuchilla utilizado para arranque de tocones o para romper capas aisladas de roca dura.
- **Grúa lateral:** Grúa con apoyo en un lateral del chasis, provisto de contrapeso y accionada por cabestrantes. Se apoya la cuchilla para aumentar la estabilidad.

Los *bulldozers* son máquinas versátiles que permiten realizar diversos trabajos en sectores como la construcción, la minería y las fuerzas armadas.

Algunos de sus usos son:

- Roturación del terreno.
- Empuje de materiales sueltos.
- Nivelación y recebo de pistas.
- Excavaciones en línea recta.
- Extendido de tierras por capa y compactación superficial.
- Rellenos.
- Formación de pilas o montones.
- Realización de terraplenes.
- Remolque de grandes cargas o de otras máquinas.

# MORRO



5.1 Planos  
PROYECTO EJECUTIVO  
CAPITULO V

Fig42. Perfil del morro.

# CUERPO III

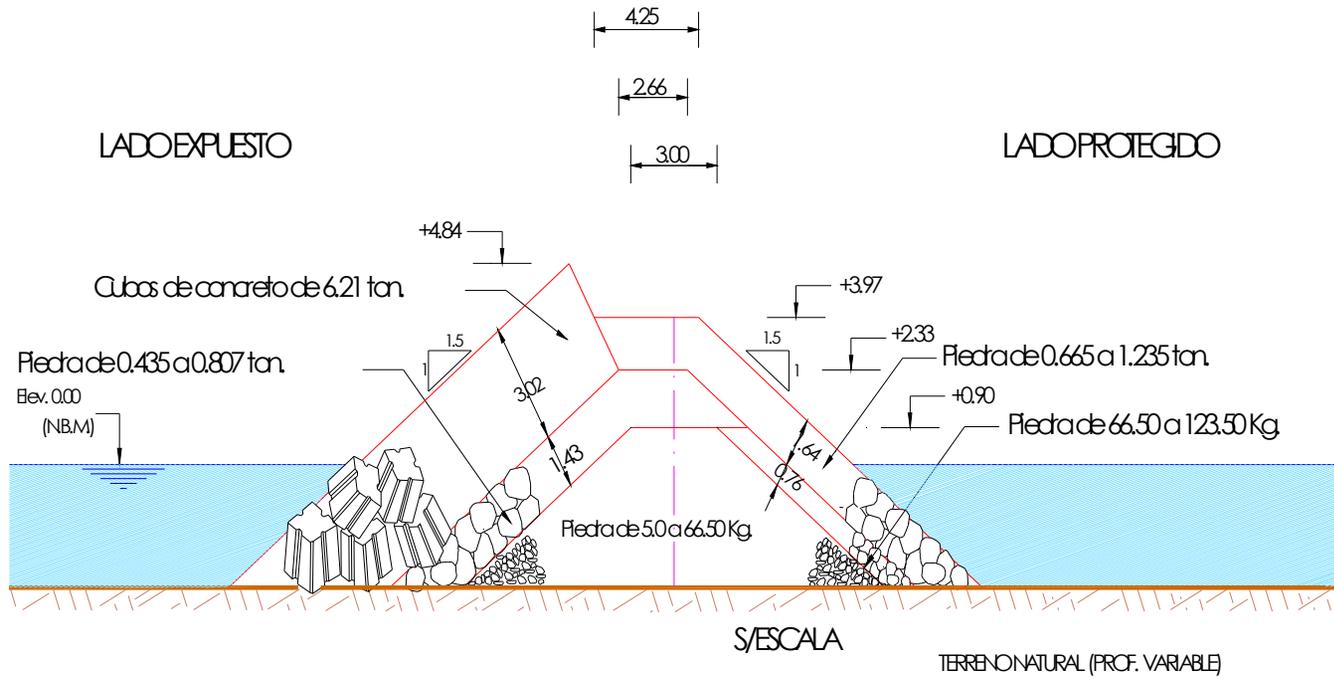


Fig43. Perfil del cuerpo III.

# CUERPO II

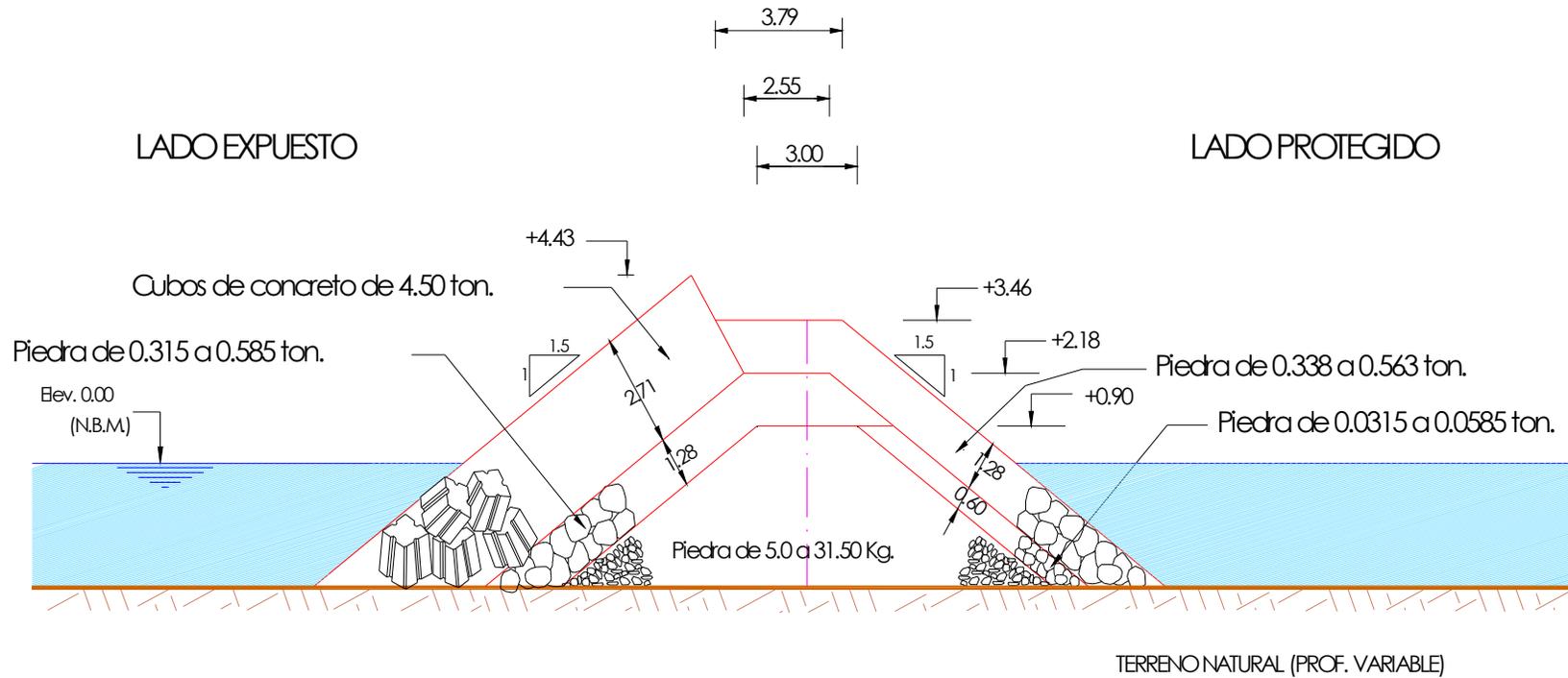


Fig.44 Perfil del cuerpo II

# CUERPO I

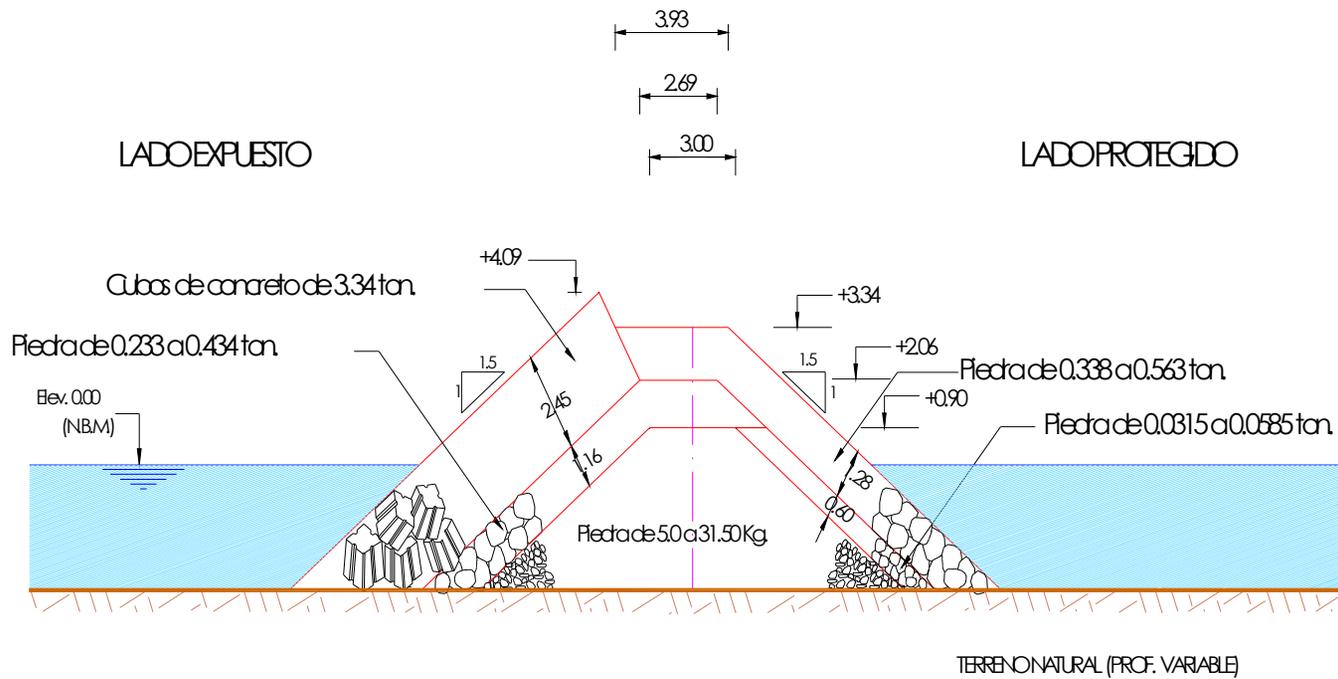


Fig.45 Perfil del cuerpo I

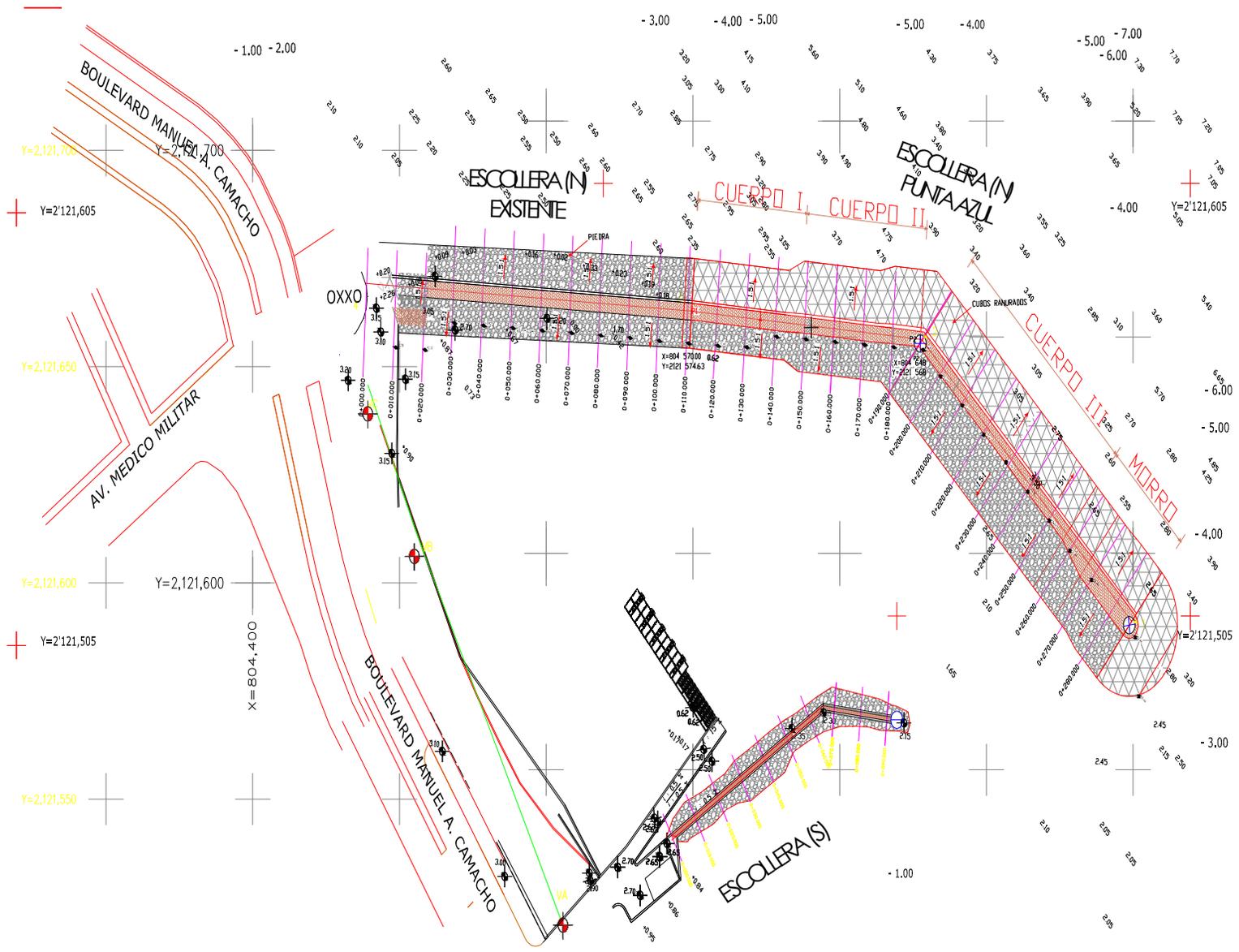


Fig.46 Prolongación de la escollera.

## **5.2 ESPECIFICACIONES PARTICULARES**

### **5.2.1 ESPECIFICACIÓN PARTICULAR 1**

#### **CONCEPTO: SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE GEOTEXTIL**

**DESCRIPCIÓN:** Suministro y colocación de Geotextil con peso medio de 275 gr/m<sup>2</sup>, resistencia mínima a la tracción de 68.1Kg y una elongación de 50%

#### **ALCANCES:**

1. Suministro de todos los materiales en el lugar de la obra, incluye: resguardo y preservación.
2. Colocación del Geotextil quedando uniformemente tendido, libre de pliegues, arrugas y/o bolsas, de acuerdo a proyecto, una vez efectuada la conformación del fondo marino
3. Traslapes de 50 cm., como mínimo.
4. Fijación provisional mediante el empleo de varillas corrugadas de acero o barretas utilizando las cintas textiles de alta tenacidad con que cuenta el Geotextil.
5. Llenado hidráulico con arena de playa del tubo incorporado de lastre, primeramente por un lado y posteriormente del otro y cierre del tubo mediante cosido.
6. Consumibles, cortes, desperdicios, retiro de las varillas o barretas, del material sobrante y limpieza
7. Personal y equipo de buceo, en su caso.
8. Todos los materiales, mano de obra, herramientas y todos los cargos correspondientes para la correcta ejecución del concepto de trabajo, por Unidad de Obra Terminada.

#### **MEDICION Y PAGO:**

La unidad de medición y pago será el metro cuadrado, cuantificado conforme a los límites geométricos del proyecto.

**NORMAS:**S.C.T.

## 5.2.2 ESPECIFICACIÓN PARTICULAR 2

### **CONCEPTO: SUMINISTRO, ACARREO Y COLOCACIÓN DE MATERIAL PETREO, PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE LA PEDRERA (025-F.02) y (025-G.02)**

**DESCRIPCIÓN:** Piedra natural para núcleo, capa secundaria y coraza, en cuerpo y morro de los espigones y su empotre, producto de explotación del banco de préstamo, con peso comprendido entre 5 Kg y 1098 Kg.

#### **ALCANCES:**

1. En caso de ser autorizado por la SEDENA, polvorín de conformidad con la Ley Federal de Armas de Fuego y Explosivos y su Reglamento, de la Secretaria de la Defensa Nacional, incluye trámite de: permiso para el uso y transporte de explosivos, licencias y pagos a que hubiera lugar, mantenimiento y operación (parte proporcional).
2. Acceso a la pedrera, incluyendo: Desmontes, despalme, limpieza y retiro de producto de desmonte, retiro del producto de despalme, de ambos a los lados del camino, trazo, mejoramiento de camino (si procede), desvíos a caminos existentes, construcción de obras auxiliares, mantenimiento, señalamiento, señaleros y demás actividades y construcciones para dar el correcto acceso a la pedrera (parte proporcional).
3. Apertura de la pedrera, incluyendo: exploraciones, estudios, construcción de patios de: almacenamiento, selección y carga, incluyendo: desmonte, despalme, limpieza y retiro de producto de desmonte, retiro del producto de despalme, de ambos a una distancia no mayor de 1 Km., y demás actividades para la correcta ejecución de la apertura de la pedrera. El contratista podrá utilizar el material que cumpla con los requerimientos de la obra y que resulte de la ejecución de esta actividad (parte proporcional).
4. Si la pedrera ya está abierta, hará todas las actividades necesarias para dejarla en condiciones de una correcta explotación (parte proporcional).
5. Explotación del banco.
  - 5.1. Pago de derechos de explotación
  - 5.2 Preparaciones en el banco.
  - 5.3 Barrenación.
  - 5.4 Explosivos y accesorios.
  - 5.5 Poblado.
  - 5.6 Tronado
  - 5.7 Amacice.
  - 5.8 Despate.
  - 5.9 Limpieza y retiro de los desperdicios.
6. Selección.
7. Acopio.
8. Desperdicios.
9. Carga de piedra a camión.
10. Acarreo al primer kilómetro.

11. Acarreo en kilómetros subsecuentes al primero.
12. El contratista se obliga a trabajar con sindicatos y/o uniones de transportistas, salvo en los casos que por el tamaño y peso de los materiales por acarrear, estas agrupaciones no cuentan con el equipo requerido. En todos los casos, los arreglos, convenios y tarifas que se establezcan, serán por cuenta y responsabilidad de la contratista.
13. Pesaje. (La báscula deberá estar: calibrada, certificada y deberá proporcionar boletos de pesaje en original y tres copias)
14. Medición de la tara de los vehículos una vez a la semana.
15. Colocación en el núcleo, capa secundaria y coraza a líneas y niveles de proyecto.
16. Capa de rodamiento y retorno con piedra producto de rezaga o grava de cualquier clase.
17. Consumibles y maniobras.
18. Bandereros para seguridad durante el tránsito de los vehículos que transportan piedra, cargados o descargados, (parte proporcional).
19. Todos los materiales y equipo de instalación permanente y/o eventual, mano de obra, herramientas y todos los cargos correspondientes para la correcta ejecución del concepto de trabajo, por Unidad de Obra Terminada.

#### **MEDICION Y PAGO.**

La unidad de medición y pago será la tonelada pesada en báscula, cuantificada de acuerdo con los pesos netos de la piedra colocada a líneas y niveles de proyecto P.U.O.T.

**NORMAS.** SCT 3.03.01.005, 3.03.01.006

### **5.2.3 ESPECIFICACIÓN PARTICULAR 3**

**CONCEPTO: SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CAMA DE ARENA LIMPIA DE BANCO.**

**DESCRIPCIÓN:** Cama de asiento para el adoquín a base de arena limpia de banco, colocada sobre el riego de impregnación.

**ALCANCES:**

1. Suministro y acarreo del material al lugar de la obra, incluye resguardo y preservación.
2. Colocación cuidadosa sobre la base, una vez barrida e impregnada.
3. Todos los materiales, equipo, mano de obra, herramientas y todos los cargos correspondientes para la correcta ejecución del concepto de trabajo, por Unidad de Obra Terminada.

**MEDICION Y FORMA DE PAGO:**

La unidad de medición será el metro cúbico colocado, cuantificado en obra a líneas y niveles de proyecto. P.U.O.T.

**NORMAS:** S.C.T.

#### **5.2.4 ESPECIFICACIÓN PARTICULAR 4**

**CONCEPTO: SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE PISO A BASE DE ADOQUIN DE CONCRETO EN FORMA DE DOBLE “T” (5), (10)**

**DESCRIPCIÓN:** Adoquín de concreto en piso para andador, tipo doble “T” de 35 cm x 50 cm x 8 cm, de  $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$  en color rosa.

**ALCANCES:**

1. Suministro y colocación de adoquín de concreto de 35 x 50 x 8 cm sobre cama de arena de 10 cm de espesor, con juntas de 0.5 cm, juntando las piezas con arena, cuidando de no pisar la cama de asiento.
2. Corte de las piezas con disco abrasivo.
3. Compactación ligera de la superficie adoquinada.
4. Control de calidad.
5. Limpieza general al final de la obra.
6. Equipo, herramienta, mano de obra, consumibles, flete a la obra, acarreo dentro de la obra, desperdicios, limpieza y demás cargos correspondientes para la correcta ejecución de los trabajos, por Unidad de Obra Terminada.

**MEDICION Y FORMA DE PAGO:**

La unidad de medición y pago será el metro cuadrado colocado, cuantificado de acuerdo a líneas y niveles de proyecto. P.U.O.T.

**NORMAS:** S.C.T

### 5.2.5 ESPECIFICACIÓN PARTICULAR 5

**CONCEPTO:** SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE DOS LETREROS INFORMATIVOS DE LA OBRA DE REHABILITACIÓN DE INFRAESTRUCTURA MARÍTIMO PORTUARIA EN BOCA DEL RÍO, VER. POR UNIDAD DE OBRA TERMINADA.

**DESCRIPCION:** Suministro, fabricación y colocación de letrero enunciativo, basado en tubo de fierro galvanizado de 75 mm en marco, lona ahulada con dimensiones y colores de acuerdo a diseño, incluye: materiales, mano de obra, equipo, y demás cargos correspondientes por unidad de obra terminada

Tanto el procedimiento de ejecución como los equipos que pretenda utilizar el contratista deberán ser acordados previamente con el RESIDENTE DE OBRA.

El contratista será el único responsable de la correcta ejecución de los trabajos objeto de este concepto. La reposición de la obra dañada o mal ejecutada, por causas imputables al contratista, será por cuenta de él mismo y se ejecutará a satisfacción de la Dependencia.

**ALCANCES:** El precio unitario deberá incluir:

01.- Suministro de estructura a partir de tubos, soldadura y/o uniones, lona ahulada, cable de nylon, primario, pintura y consumibles.

02.- Fabricación de marco con uniones y/o soldadura.

03.- Recubrimiento de tubos con epóxico ra-21 amercoat y primario rp-48, siguiendo indicaciones del fabricante.

04.- Rotulación del logotipo de la SCT y enunciado de obra, de acuerdo a diseño. Perforaciones contra viento de 10 centímetros de diámetro en la lona.

05.- Colocación de los dos letreros al inicio de la obra en los lugares que indique el RESIDENTE DE OBRA, incluye en su caso: anclaje a base de zapatas, excavación, relleno, compactación de material producto de excavación, acarreo de letrero, anclajes contra viento.

06.- Maniobras e instalación.

07.- Materiales, mano de obra, herramienta, equipo, maquinaria y demás cargos correspondientes para la correcta ejecución del concepto de trabajo.

08.- Los tiempos de inactividad de maquinaria y/o equipo a consecuencia de condiciones meteorológicas adversas.

**MEDICIÓN Y PAGO:** LA UNIDAD DE MEDICIÓN Y PAGO SERÁ EL LETRERO EL QUE SERÁ CUANTIFICADO DIRECTAMENTE DE LOS REGISTROS EFECTUADOS EN CAMPO Y A SATISFACCIÓN DEL RESIDENTE DE OBRA POR UNIDAD DE OBRA TERMINADA.

**NORMAS:** S.C.T.

### 5.2.6 ESPECIFICACIÓN PARTICULAR 6

**CONCEPTO:** SUMINISTRO ACARREO Y COLOCACIÓN DE CUBOS RANURADOS, DE CONCRETO SIMPLE DE  $f'_c=200$  KG/CM<sup>2</sup> DE 3.34 TON DE PESO (1.20MX1.20M DE BASE MAYOR, 1.05MX1.05M DE BASE MENOR Y 1.20M DE ALTURA), 4.50 TON DE PESO (1.35MX1.35M DE BASE MAYOR, 1.11MX1.11M DE BASE MENOR Y 1.35M DE ALTURA), DE 6.21 TON DE PESO (1.45MX1.45M DE BASE MAYOR, 1.31MX1.31M DE BASE MENOR Y 1.45M DE ALTURA) Y DE 8.45 TON DE PESO (1.60MX1.60M DE BASE MAYOR, 1.45MX1.45M DE BASE MENOR Y 1.60M DE ALTURA) (025-H.04)

**DESCRIPCIÓN:** Fabricación, acarreo y colocación de cubos ranurados de concreto simple para coraza en el cuerpo y en el morro de la escollera oeste.

#### ALCANCES:

1. Obras auxiliares
2. Acondicionamiento de áreas de colado
3. Fabricación de los cubos
4. Vibrado de los cubos
5. Curado de los cubos
6. Carga en la zona de fabricación
7. Transporte de la zona de fabricación de los cubos al sitio de colocación.
8. Trazos y referencias.
9. Colocación de los cubos a líneas y niveles de proyecto.
10. Reacomodo de los cubos existentes de la capa de coraza, que se encuentren fuera de sitio, sobre los taludes de la escollera con el fin de reconfigurar estos para completar dicha capa, como se indica en el proyecto.
11. Retiro de obras auxiliares, consumibles y maniobras.
12. Todos los materiales, mano de obra, equipo, herramientas y todos los cargos correspondientes para la correcta ejecución del concepto de trabajo por unidad de obra terminada.

#### MEDICION Y FORMA DE PAGO:

La unidad de medición y pago será la pieza colocada, cuantificada de acuerdo a líneas y niveles de proyecto, pagándose el 40% del precio unitario, conforme se fabriquen los cubos y el 60% restante al colocarse a líneas y niveles de proyecto P.U.O.T.

**NORMAS:** SCT (3.03.01.007-H.02), (3.03.01.007-H.03)

### **5.2.7 ESPECIFICACION PARTICULAR 7**

**CONCEPTO:** SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE LA BALIZA EN ESCOLLERAS NORTE Y SUR

**DESCRIPCION:** Suministro y de baliza en el morro de las escolleras norte y sur. Concreto de 300 kg/cm<sup>2</sup>, acero de refuerzo de  $f'y=4,200$  kg/cm<sup>2</sup>.

**ALCANCES:**

1. Suministro de todos los materiales en el lugar de la obra, incluye: resguardo y preservación.
2. No deberá traslaparse más del 50% del acero corrido en la misma sección.
3. Obras auxiliares.
4. Equipo de transporte marino, en su caso.
5. Construcción de la nueva base de concreto reforzado, según proyecto.
6. Maniobras, consumibles, desperdicios, retiro de material sobrante y limpieza.
7. Todos los materiales, mano de obra, equipo, herramientas y todos los cargos correspondientes para la correcta ejecución del concepto de trabajo, por unidad de obra terminada.

**MEDICION Y PAGO:**

La unidad de medición y pago será, el precio global de baliza colocada en el morro, conforme a líneas y niveles de proyecto. P.U.O.T.

**NORMA:** SCT

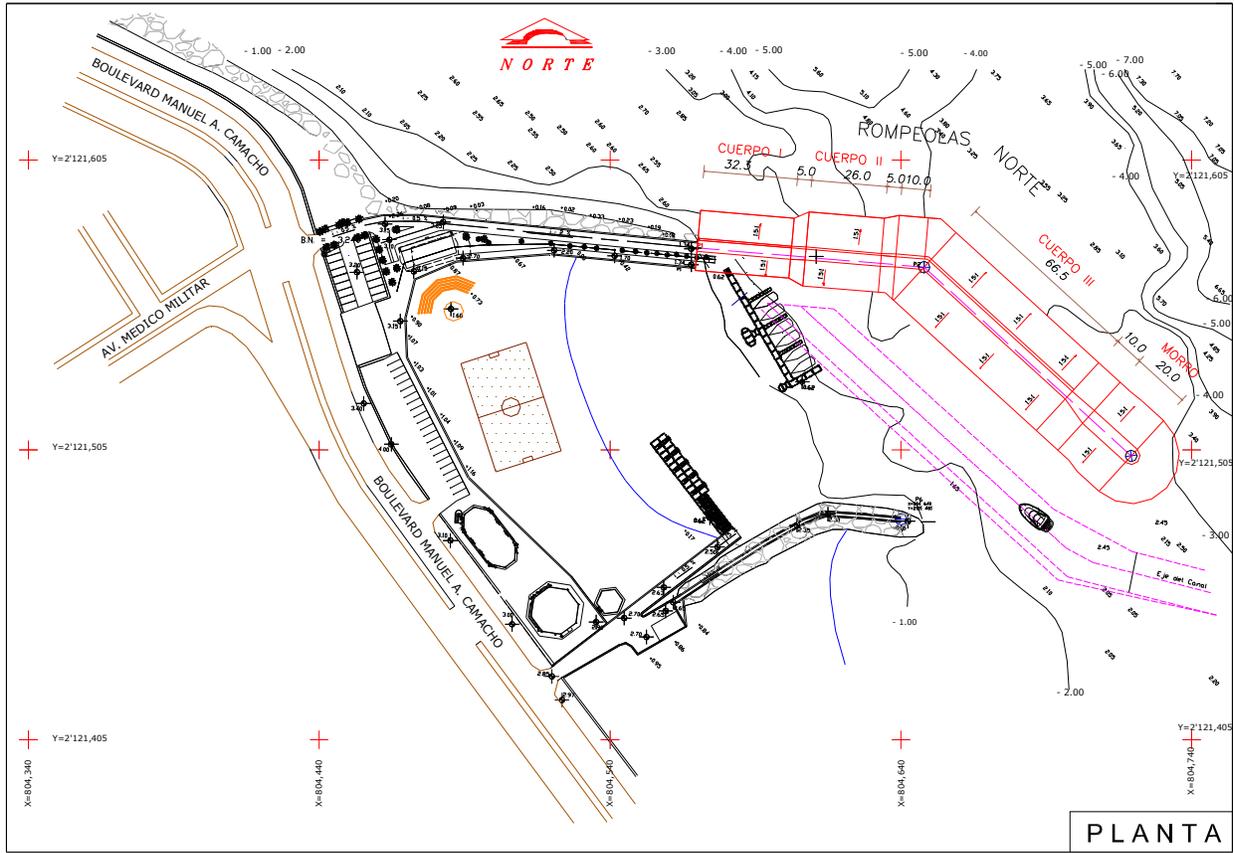


Fig. 47 Escollera definitiva.

CLAVE	CATALOGO	PERIODO DE EJECUCION (MESES)																									
		mes 1		mes 2		mes 3		mes 4		mes 5		mes 6															
<b>REPARACION DE LA ESCOLLERA EXISTENTE DEL KM 0+000 AL KM 0+100</b>																											
PR-01	TRAZO Y NIVELACION DE ESCOLLERA EXISTENTE INCLUYE: EQUIPO TOPOGRAFICO Y NIVELES. P.U.O.T.	■																									
PR-02	SUMINISTRO Y COLOCACION DE NUCLEO, PIEDRA DE 5 KG A 66.50 KG. EN CUERPO DE KM 0+000 AL KM 0+100, SEGUN PROYECTO P.U.O.T.	■																									
PR-03	CAPA SECUNDARIA, PIEDRA DE 0.233 A 0.807 EN CUERPO DE KM 0+000 AL KM 0+090 SEGUN PROYECTO. P.U.O.T.			■																							
PR-04	CORAZA, A BASE DE PIEDRA DE 3.38 A 5.63 TON SEGUN PROYECTO Y ESPECIFICACIONES PARTICULARES No.2 P.U.O.T.					■																					
<b>PROLONGACION DE LA ESCOLLERA NORTE INCLUIDO MORRO</b>																											
MP-01	TRAZO Y NIVELACION DE ESCOLLERA, INCLUYE: EQUIPO TOPOGRAFICO Y NIVELES P.U.O.T	■																									
MP-02	SUMINISTRO Y COLOCACION DE TELA GEOTEXTIL DE 275 GR/M2 EN EL DESPLANTE DEL ESPIGON SEGUN PROYECTO E. P. 1 SEGUN PROYECTO P. U. O. T.									■																	
MP-31	Núcleo, piedra de 5 Kg a 60.5 Kg en escollera norte, según proyecto. P.U.O.T											■															
MP-32	Núcleo, piedra de 5 Kg a 592 Kg en morro , según proyecto P.U.O.T													■													
MP-41	Capa secundaria, piedra de 0.2330 a 0.807 ton. en cuerpo I P.U.O.T													■													
MP-42	Capa secundaria, piedra de 592 a 1098 Kg en morro, según proyecto. P.U.O.T													■													
MP-51	Suministro y colocación de coraza lado expuesto a base de cubos ranurados de concreto de 3.34 tons., en cuerpo I, según proyecto P.U.O.T													■													
MP-52	Suministro y colocación de coraza lado expuesto a base de cubos ranurados de concreto de 4.50 tons., en cuerpo II, según proyecto P.U.O.T													■													

CLAVE	CATALOGO	PERIODO DE EJECUCION (MESES)																	
		mes 1			mes 2			mes 3			mes 4			mes 5			mes 6		
MP-53	Suministro y colocación de coraza lado expuesto a base de cubos ranurados de concreto de 6.21 tons., en cuerpo III, según proyecto P.U.O.T																		
MP-54	Suministro y colocación de coraza lado sur protegido a base de piedra de 0.338 a 1.235 tons., en cuerpo I, según proyecto P.U.O.T																		
MP-55	Suministro y colocación de coraza lado expuesto a base de cubos ranurados de concreto de 8.45 tons. en morro, según proyecto., según proyecto P.U.O.T																		

**ANDADOR EN ESCOLLERA NORTE**

ES-01	Trazo y nivelación de andador, incluye: equipo topográfico, niveles																		
ES-02	Relleno con material pétreo, de hasta 10 Kg de peso, en la corona del espigón, colocando el material de mayor tamaño en la parte inferior, según proyecto, incluye acarreo E.P.3 P.U.O.T.																		
ES-03	Suministro y colocación de tela Geotextil de 275 gr/m2 sobre el material de rezaga colocado sobre la corona del espigón, según proyecto, P.U.O.T.																		
ES-04	Sub-bases o bases, por unidad de obra terminada (3.01.03.074-H.04) P.U.O.T.																		
ES-05	Materiales asfálticos por unidad de obra terminada (3.01.03.076H.05) P.U.O.T.																		
ES-06	Suministro y colocación se cama de arena limpia de banco, según proyecto E.P.4 P.U.O.T.																		
ES-07	Suministro y colocación de piso a base de adocreto en forma de doble "T", según proyecto E.P.5 P.U.O.T.																		
ES-09	Concreto hidráulico por unidad de obra terminada (3.01.02.026-H.10) P.U.O.T.																		

**ATRACADERO PUNTA AZUL, VER.**  
**PROYECTO EJECUTIVO PROLONGACIÓN DEL ROMPEOLAS NORTE**  
**PRESUPUESTO NO. 01A PUNTA AZUL/2008**

CATÁLOGO DE CONCEPTOS Y CANTIDADES DE OBRA ROMPEOLAS NORTE							
E.P	CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (LETRA)	P.U. NÚMERO	IMPORTE
	I	Suministro y colocación de piedra para <b>NÚCLEO</b> de 5 a 31.5 kg, incluye acarreo a kilómetros subsecuentes al primero, colocación según planos y líneas de proyecto. Norma para Construcción SCT-3.03.01.003.	ton	5,020.00	Trescientos pesos 00/100 M.N.	300.00	1,506,000.00
2	II	Suministro y colocación de piedra para <b>NÚCLEO</b> de 5 a 66.50 kg, incluye acarreo a kilómetros subsecuentes al primero, colocación según planos y líneas de proyecto. Norma para Construcción SCT-3.03.01.003.	ton	7,730.00	Trescientos pesos 00/100 M.N.	300.00	2,319,000.00
3	III	Suministro y colocación de piedra para <b>CAPA SECUNDARIA LADO EXPUESTO</b> de <b>435 a 807 kg.</b> incluye acarreo a kilómetros subsecuentes al primero, colocación según planos y líneas de proyecto. Norma para Construcción SCT-3.03.01.003.	ton	2,520.00	Trescientos pesos 00/100 M.N.	300.00	756,000.00
4	IV	Suministro y colocación de piedra para <b>CAPA SECUNDARIA LADO PROTEGIDO</b> de 66.5 A 123.50 kg., incluye acarreo a kilómetros subsecuentes al primero, colocación según planos y líneas de proyecto. Norma para Construcción SCT-3.03.01.003.	ton	960.00	Trescientos pesos 00/100 M.N.	300.00	288,000.00
5	V	Suministro y colocación de piedra para <b>CORAZA LADO PROTEGIDO</b> de <b>0.665 a 1.235 ton.</b> , incluye acarreo a kilómetros subsecuentes al primero, colocación según planos y líneas de proyecto. Norma para Construcción SCT-3.03.01.003.	ton	3,755.00	Trescientos ochenta pesos 00/100 M.N.	380.00	1,426,900.00
						suma parcial	6,295,900.00
						suma acumulada	<b>6,295,900.00</b>

5.4 CATALOGO DE CONCEPTOS Y PRESUPUESTO

**CATÁLOGO DE CONCEPTOS Y CANTIDADES DE OBRA ROMPEOLAS NORTE**

E.P	CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (LETRA)	PRECIO UNITARIO NÚMERO	IMPORTE
6	VI	Suministro y colocación de piedra para <b>CAPA SECUNDARIA LADO EXPUESTO</b> de 233 A 434 kg, incluye acarreo a kilómetros subsecuentes al primero, colocación según planos y líneas de proyecto. Norma para Construcción SCT-3.03.01.003.	ton	710.00	Trescientos pesos 00/100 M.N.	300.00	213,000.00
7	VII	Suministro y colocación de piedra para <b>CAPA SECUNDARIA LADO PROTEGIDO</b> de 31.5 A 58.5 kg, incluye acarreo a kilómetros subsecuentes al primero, colocación según planos y líneas de proyecto. Norma para Construcción SCT-3.03.01.003.	ton	575.00	Trescientos pesos 00/100 M.N.	300.00	172,500.00
8	VIII	Suministro y colocación de Cubos ranurados para <b>CORAZA LADO EXPUESTO</b> de 3.34 Ton., incluye fabricación, colocación y almacenaje, según planos y líneas de proyecto. Norma para Construcción SCT-3.03.01.003.	pieza	337.00	Tres mil setecientos noventa y tres pesos 86/100 M.N.	3,793.86	1,278,530.82
9	IX	Suministro y colocación de piedra para <b>CORAZA LADO PROTEGIDO</b> de 338 a 563 kg, incluye acarreo a kilómetros subsecuentes al primero, colocación según planos y líneas de proyecto. Norma para Construcción SCT-3.03.01.003.	ton	1,925.00	Trescientos ochenta pesos 00/100 M.N.	380.00	731,500.00
10	X	Suministro y colocación de piedra para <b>CAPA SECUNDARIA LADO EXPUESTO</b> de 315 A 585 kg, incluye acarreo a kilómetros subsecuentes al primero, colocación según planos y líneas de proyecto. Norma para Construcción SCT-3.03.01.003.	ton	835.00	Trescientos pesos 00/100 M.N.	300.00	250,500.00
						suma parcial	2,646,030.82
						suma acumulada	<b>8,941,930.82</b>

**CATÁLOGO DE CONCEPTOS Y CANTIDADES DE OBRA ROMPEOLAS NORTE**

E.P	CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (LETRA)	PRECIO UNITARIO NÚMERO	IMPORTE
		<b>SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE PIEDRA CUERPO</b>					
11	XI	Suministro y colocación de Cubos ranurados para <b>CORAZA LADO EXPUESTO de 4.50 Ton.</b> , incluye fabricación, colocación y almacenaje, según planos y líneas de proyecto. Norma para Construcción SCT-3.03.01.003.	pieza	299.00	cuatro mil seiscientos sesenta y siete pesos 40/100 M.N.	4,667.40	1,395,552.60
12	XII	Suministro y colocación de Cubos ranurados para <b>CORAZA LADO EXPUESTO de 6.21 Ton.</b> , incluye fabricación, colocación y almacenaje, según planos y líneas de proyecto. Norma para Construcción SCT-3.03.01.003.	pieza	685.00	cinco mil novecientos cincuenta y seis pesos 88/100 M.N.	5,956.88	4,080,462.80
13	XIII	Suministro y colocación de piedra para <b>CAPA SECUNDARIA LADO EXPUESTO de 592 A 1098 kg</b> , incluye acarreo a kilómetros subsecuentes al primero, colocación según planos y líneas de proyecto. Norma para Construcción SCT-3.03.01.003.	ton	1,435.00	Trescientos pesos 00/100 M.N.	300.00	430,500.00
14	XIV	Suministro y colocación de Cubos ranurados para <b>CORAZA MORRO de 8.45 Ton.</b> , incluye fabricación, colocación y almacenaje, según planos y líneas de proyecto. Norma para Construcción SCT-3.03.01.003.	pieza	479.00	siete mil seiscientos cuarenta y dos pesos 30/100 M.N.	7,642.30	3,660,661.70
15	XV	Suministro y colocación de piedra para <b>NUCLEO MORRO de 5.0 a 592 kg</b> , incluye acarreo a kilómetros subsecuentes al primero, colocación según planos y líneas de proyecto. Norma para Construcción SCT-3.03.01.003.	ton	1,835.00	Trescientos pesos 00/100 M.N.	300.00	550,500.00
						suma parcial	10,117,677.10
						suma acumulada	<b>19,059,607.92</b>

<p><b>GRAN TOTAL PROLONGACIÓN ROMPEOLAS NORTE:</b></p>	<p><b>\$ 19,059,607.92</b></p>
--	--------------------------------

## CAPITULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Para el diseño óptimo de una obra de protección es primordial conocer las características del oleaje por lapsos prolongados de tiempo. En los estudios en que se basaron para realizar esta tesis se consideraron al menos 5 opciones para obras de protección marítima. Se tomaron en cuenta modelos matemáticos como la modelación matemática de agitación de oleaje arrojando diversos resultados siendo algunos más desfavorables que otros.

La agitación de oleaje de la siguiente figura es mucho menor que en las otras alternativas siendo este de  $< 0.1$  dentro de la marina y de 0.1 a la entrada entre rompeolas.

Para el análisis de la marea de tormenta, y para el diseño estructural de las obras exteriores de los atracaderos, se seleccionaron las características del oleaje en aguas profundas, asociadas a un período de retorno de 50 años, características que fueron las siguientes: altura de ola de 5.26 m y período pico de 9.17 seg.

La caracterización del oleaje estacional, fue el siguiente:

- Para la estación primavera, las direcciones Norte y N 30° E son las que presentan mayor altura de ola (1.40 y 1.00 m respectivamente).
- Para la estación verano, la dirección Norte es la que presenta mayor altura de ola (1.20 m).
- Para las estaciones otoño e invierno, las direcciones Norte y N 30° E son las que presentan mayores alturas de ola (variando de 1.20 a 2.00 m).
- En el régimen estacional, las direcciones del oleaje Norte y N 30° E son las que presentan mayores alturas de ola, situación que refleja que dichas condiciones de oleaje están ligadas a los eventos climáticos llamados Nortes, los cuales se presentan en las estaciones de otoño e invierno principalmente.

Por eso se considero el uso de bloques ranurados o antifer en la parte exterior de la escollera para darle más protección a esta y servir de disipador de la fuerza de la ola. Aunado que la prolongación de 175 mts. es la óptima ya que cubre con las características de protección y soportando los períodos máximos de oleaje en la zona.

## **BIBLIOGRAFIA**

- 1) Obras marítimas Vincent esteban chapapria Editorial universidad politecnica valenciana
- 2) Danish Hydraulic Institute. MIKE 21 Wave Modelling. DHI Water & Enviroment. Dinamarca, 2001.
- 3) Dirección General de Puertos. Manual del Dimensionamiento Portuario. Vocalía de planeación. México, 2001.
- 4) Moreno Blasco, Luis. Modelo GENESIS, Modelo de evolución de playas. CEDEX. España, 1993.
- 5) Puertos del Estado. Proyecto de la Configuración Marítima de los Puertos; canales de acceso y áreas de flotación ROM 3.1-99. Puertos del Estado. España, 2000.
- 6) Sato, Shoji. Cálculo de Sedimentación del Canal de Navegación. Curso Internacional de Capacitación de Ingeniería Hidráulica Portuaria. Puertos Mexicanos y México Office, Japan International Cooperation Agency (JICA). México, 1997.
- 7) Servicio Mareográfico, Instituto de Geofísica. Tablas de Predicción de Mareas. Puertos del Golfo de México. Universidad Nacional Autónoma de México. México, 2004.
- 8) Us Army Corps of Engineers. Shore Protection Manual Vol. 1 y 2. Government Printing Office. USA, 1984.
- 9)[http://www.lpc.upv.es/lpc2/upload/File/Patentes/OT\\_K4952\\_cas%20B01.pdf](http://www.lpc.upv.es/lpc2/upload/File/Patentes/OT_K4952_cas%20B01.pdf)