

01146



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**PROYECTO Y PROCESO CONSTRUCTIVO DE
OBRAS DE PROTECCIÓN MARÍTIMA EN EL
ESTADO DE SINALOA**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA (CONSTRUCCIÓN)
P R E S E N T A L A

ING. GREGORIA GARCÍA MARTÍNEZ



DIRECTOR DE TESIS: M. I. JAIME A. MARTÍNEZ MIER

CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO, D. F.,

AGOSTO DE 2004



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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

A toda mi familia por su apoyo incondicional, especialmente a mis hermanas.

A mi director de tesis Jaime A. Martínez Mier por su dedicación y paciencia para la realización de ésta tesis.

A todos mis sinodales y profesores de la Maestría (Construcción) por sus valiosas aportaciones a mi tesis y por todas sus enseñanzas.

A mis escuelas, Universidad Nacional Autónoma de México y Universidad Autónoma de Sinaloa por haber hecho posible que se llevara a cabo la realización de ésta Maestría.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
--------------------	---

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES	3
1.1 Obras usuales de protección	4
1.1.1 Rompeolas	4
1.1.2 Escolleras	6
1.1.3 Espigones	6
1.2 Componentes de las obras de protección	7
1.2.1 Delantal	7
1.2.2 Filtro	8
1.2.3 Núcleo	8
1.2.4 Capa secundaria	8
1.2.5 Coraza	8
1.2.5.1 Coraza de enrocamiento	9
1.2.5.2 Coraza de elementos prefabricados	10
1.3 Hidráulica marítima	10
1.3.1 Vientos	10
1.3.2 Mareas	14
1.3.3 Oleajes	17
1.3.4 Corrientes	18
Referencias	21

CAPÍTULO II

2 PRÁCTICA ACTUAL Y CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE PROTECCIÓN MARÍTIMA EN SINALOA	22
2.1 Problemática	22
2.2 Legislación	23
2.3 Estudios	24
2.3.1. Estudios topográficos	24
2.3.2. Estudios batimétricos	25
2.3.3. Estudios de vientos	25
2.3.4. Estudios mareográficos	25
2.3.5. Estudios de oleajes	26
2.3.6. Estudios de corrientes	26
2.3.7. Estudio de transporte de sedimentos	26
2.3.8. Estudios de bancos de material	26
2.3.9. Estudios ambientales	27
2.3.10. Estudios hidrológicos	27
2.4. Caso histórico	27
2.4.1. Estudios realizados	28
2.4.2. Análisis	28
2.4.3. Diseño	36
2.4.4. Soluciones	37
2.4.5. Conclusiones al análisis del proyecto	38
Referencias	39

CAPÍTULO III

3 PROPUESTA DE ESTUDIOS, PROYECTO Y PROCESO CONSTRUCTIVO	40
3.1 Recopilación y análisis de información	40
3.2 Legislación	41

3.3 Estudios	42
3.3.1 Estudios topográficos	42
3.3.2 Estudios batimétricos	43
3.3.3 Estudios de vientos	44
3.3.4 Estudios mareográficos	44
3.3.5 Estudios de oleajes	45
3.3.6 Estudio de corrientes	45
3.3.7 Estudios hidrológicos	46
3.3.8 Estudios de bancos de material	46
3.3.9 Estudios ambientales	47
3.3.10 Estudios de transporte de sedimentos	48
3.3.11 Estudios geotécnicos	48
3.4 Proyecto	49
3.4.1 Ingeniería básica	49
3.4.2 Ingeniería de detalle	50
3.4.3 Diseño de un enrocamiento a talud	51
3.4.3.1 Cálculo de los pesos	51
3.5 Proceso constructivo	51
3.5.1 Explotación de pedreras	53
3.5.2 Obras de protección	55
3.5.2.1 Materiales	56
3.5.2.2 Colocación	57
3.5.2.2.1 Núcleo	57
3.5.2.2.2 Capa secundaria	58
3.5.2.2.3 Coraza	58
3.6 Control de calidad	59
3.6.1 Control de calidad de los bancos de material	64
3.6.2 Control de calidad de las obras de protección	67
3.7 Supervisión	68
3.7.1 Revisión del proyecto	69
3.7.2 Supervisión de obra	69

Referencias	75
-------------------	----

CAPÍTULO IV

4 ALGUNOS ASPECTOS ECONÓMICOS	76
4.1 Costos	76
4.2 Medición y base de pago de los conceptos de obra, para la construcción de obras de protección marítima	78
4.2.1 Explotación de pedreras	79
4.2.2 Obras de protección	80
4.3 Relación beneficio – costo	83
Referencias	85

CAPÍTULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	86
---	-----------

FIGURAS	89
----------------------	-----------

ANEXOS	101
---------------------	------------

Anexo A Requisitos para la manifestación de impacto ambiental	102
---	-----

Anexo B Algunos conceptos importantes en el diseño de estructuras de protección marítima	106
--	-----

BIBLIOGRAFÍA	112
---------------------------	------------

INTRODUCCIÓN

La realización de esta tesis está motivada por la falta de un proceso sistematizado de estudios, proyecto, construcción y conservación de obras de protección marina en el Estado de Sinaloa. Esta tesis desarrolla una guía sobre esas etapas, que puede ser de utilidad en futuros proyectos y ampliaciones tanto del Puerto de Mazatlán, como en la desembocadura de ríos y en la protección de playas del Estado.

En el Capítulo I de este trabajo se tratan aspectos generales de las obras de protección incluyendo su tipo, características, materiales y utilización.

El Capítulo II trata sobre la práctica actual de construcción de este tipo de obras en Sinaloa, incluyendo los estudios que se realizan y la legislación en la que se basa su construcción; al final del capítulo se presenta el caso histórico de una escollera en la desembocadura del Río Baluarte, localizado al Sur de Sinaloa.

En el Capítulo III se propone una guía para estudios, proyecto y construcción de las obras marítimas en el Estado de Sinaloa.

En el Capítulo IV se describen algunos aspectos económicos de estas obras como: costos (directos e indirectos), medición, base de pago y utilidad

Finalmente en el Capítulo V se presentan las conclusiones y recomendaciones del trabajo.

Como ya se citó, esta tesis se realiza con el fin de proponer un proceso de proyecto y construcción que reduzca las deficiencias y mal comportamiento de las estructuras de protección marítima, en particular en el sur del Estado de Sinaloa, así como mitigar los daños e impactos que éstas puedan causar en el

medio ambiente y en la economía. Trata de ser una guía de utilidad a las dependencias, empresas y profesionales involucrados en el proyecto y construcción de este tipo de obras, en particular de enrocamiento.

En este trabajo se presentan las referencias al final de cada capítulo y las figuras se localizan al final del trabajo.

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

La Construcción de obras de protección como son rompeolas, escolleras y espigones nace con la necesidad de proteger de la acción del oleaje un área costera, evitar azolvamientos en las desembocaduras de ríos y para proteger playas de la acción erosiva de las corrientes litorales.

Fue hasta principios de los años treinta del siglo pasado, cuando los investigadores de estructuras marítimas se empezaron a preocupar por el diseño de las mismas. En principio las corazas de dichas estructuras eran de enrocamiento, pero con el paso del tiempo se comenzaron a utilizar diferentes tipos de corazas de elementos prefabricados, los cuales consistían en emplear formas geométricas construidas de concreto, debido a que muchas veces no se disponía de roca natural cerca del sitio propuesto para la instalación.

Inicialmente las formas más comunes fueron el cubo y el tetraedro. Recientemente se han desarrollado más tipos o formas de elementos de concreto precolado como son los tetrápodos, tribarras, dolos, cubos, entre otros.

El presente trabajo trata el tema de la construcción de obras de protección marítima en el Estado de Sinaloa, el cual se caracteriza por la existencia de un gran litoral con llanuras costeras, marismas y

lagunas litorales, que a través del tiempo se han visto modificadas en sus características morfológicas y ecológicas con la consecuente reducción de dimensiones y de producción de recursos pesqueros.

Lo anterior ocasiona la casi nula comunicación que existe entre los cuerpos interiores de agua y el mar originando tanto inadecuadas condiciones de salinidad de esos cuerpos para el desarrollo de especies marinas como el depósito del material que las corrientes de agua dulce arrastran al mar y constante azolvamiento de los canales de comunicación. Por ello, se hace necesaria la construcción a mediano plazo de un mayor número de obras marítimas de protección.

El Estado de Sinaloa se encuentra ubicado geográficamente entre los paralelos N 27° 02' Y N 22° 29' y MERIDIANOS 105° 23' Y 109° 28'. Colinda al Norte con Sonora y Chihuahua, al Este con Durango y Nayarit, al Sur con Nayarit y el Océano Pacífico y al Oeste con el Golfo de California y Sonora.

1.1 Obras usuales de protección

La utilización de obras de protección nace de la necesidad de resguardar un área costera de la acción erosiva de las corrientes litorales, proporcionar calma a un puerto y evitar la formación de azolves en las desembocaduras de ríos. Las obras más utilizadas son las de protección externa como rompeolas y escolleras, y las de protección de costas conocidas como espigones.

1.1.1 Rompeolas

El propósito fundamental de un rompeolas es disipar la energía del oleaje para crear una zona de calma en el puerto y así proteger los accesos, zonas de maniobras y obras interiores existentes en él, a fin de que las embarcaciones efectúen sus operaciones con seguridad y comodidad. Para su estudio pueden dividirse (Ref. 1) en:

A) Los que amortiguan el oleaje, que se agrupan en:

- a) Rompeolas sumergidos. Producen una disminución en la altura de ola incidente, mediante una reflexión parcial (Fig. 1).
 - b) Rompeolas flotantes. Su función también es producir una reducción del oleaje (Fig. 2).
 - c) Rompeolas neumáticos e hidráulicos. Amortiguan el oleaje mediante dispositivos especiales que inyectan aire o agua a presión (Figs. 3 y 4).
- B) Los que impiden el paso del oleaje. Pueden clasificarse por la forma en que se oponen al oleaje, en:
- a) Rompeolas de paramento vertical. Constan de una pared vertical formada, en general, por cajones de concreto rellenos con arena o roca, colocados sobre un enrocamiento (Fig. 5).
 - b) Rompeolas a talud. Están formados en general por tres componentes, el núcleo, la capa secundaria y la coraza; ésta última puede ser de roca o de elementos prefabricados y pueden estar colocados de manera ordenada o al azar (Fig. 6).
 - c) Rompeolas mixtos. Consisten en una muralla vertical que reposa directamente sobre el fondo del mar cuando la profundidad es poca y el terreno resistente, ó sobre un enrocamiento cuya corona se encuentra cuando mucho al nivel de bajamar. También puede construirse del lado del mar un enrocamiento en talud y del lado del puerto una pared vertical, para utilizarse como atracadero de barcos (Fig. 7).

A través del tiempo se han realizado extensos estudios experimentales para obtener diseños satisfactorios y confiables de este tipo de estructuras, acorde a las necesidades de seguridad, eficiencia y economía

La protección que brinda un rompeolas es total. No se permite que el oleaje lo rebase, por lo que su diseño se hace considerando la ola máxima esperada en el sitio. Es importante conocer las fuerzas actuantes para dimensionar adecuadamente su sección transversal. En muchos casos se utilizan

modelos a escala para representar, de manera más realista el comportamiento que va a tener la estructura. La Fig.8 muestra una panorámica del rompeolas del Puerto de Mazatlán, Sin.

1.1.2 Escolleras

Son estructuras semejantes a los rompeolas, pero se extienden dentro de un cuerpo de agua para dirigir y encausar una corriente o flujo de marea hacia un área determinada y evitando que el acarreo litoral azolve el canal de navegación.

Estas obras se ubican en las desembocaduras de ríos, bocas de laguna o bocas de esteros, con el fin de ayudar a profundizar el canal de navegación al provocar el arrastre de material hacia aguas profundas.

Cuando se construyen para mantener una profundidad de navegación en la boca de un río o laguna, conviene que sean paralelas, conservando entre ellas el ancho del río, y que sus extremos lleguen de preferencia hasta la línea batimétrica que coincide con el nivel de fondo del canal de navegación.

Las escolleras están formadas de un manto de piedras o fragmentos relativamente grandes, procedentes de excavaciones en roca, sobre un talud preparado, formando una capa compacta, bien graduada y con un mínimo de huecos. Las piedras empleadas en este tipo de obras deben tener la superficie rugosa. En general serán adecuadas para escollera las procedentes de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, resistentes, sin alteración apreciable, compactas y químicamente estables frente a la acción de los agentes externos, y en particular ante el agua. La Fig. 9 muestra la foto de una escollera.

1.1.3 Espigones

Los espigones son estructuras de protección costera que van desde la línea de playa, perpendicularmente a ella, hasta una profundidad suficiente para estabilizarla, ya sea deteniendo o

desviando el acarreo litoral. Su tipo y forma dependerá de las condiciones locales y de los materiales disponibles en el lugar. Pueden ser verticales o inclinados, formados con mampostería, concreto, tablaestacas o enrocamiento. En cada caso es necesario definir su ubicación, longitud y altura. La Fig. 10 ilustra algunos tipos de espigones utilizados para la protección de costas, y la Fig. 11 la foto de un espigón.

Estas estructuras se utilizan para:

- a) Reducir la velocidad del transporte litoral, modificando la orientación de la línea de playa y tendiendo a la orientación de equilibrio, normal a la dirección del oleaje.
- b) Constituir una trampa total al paso de las arenas durante cierto tiempo.
- c) Evitar que se pierda material de una playa, confinándola entre espigones.
- d) Estabilizar una playa sujeta a transportes litorales en una sola dirección.

1.2 Componentes de las obras de protección

En este apartado se definen los principales componentes de una obra de protección marítima y que aparecen ilustrados en la Fig. 12.

1.2.1 Delantal

Tienen por objetivo proteger la escollera contra la socavación al pie de la misma; se recomienda que su espesor (e) sea mayor de 0.5 m, y su longitud (L) mayor de 5.0 m en el lado expuesto al oleaje y entre 1.5 a 2.0 m en el lado protegido. En muchas ocasiones se construye utilizando los mismos elementos del núcleo. Nunca debe evitarse su construcción, ya que contribuye mucho a la seguridad de la obra (Ref. 2).

1.2.2 Filtro

Consiste en un geotextil que se utiliza para evitar el hundimiento de las piedras o fragmentos de roca durante la construcción. Cuando se presentan grandes tormentas, impide que la arena del fondo sea succionada de entre los huecos dejados por los fragmentos. En ocasiones, cuando los delantales funcionan como protección, puede omitirse el filtro.

1.2.3 Núcleo

Es la parte central de cualquier estructura de protección marítima; brinda soporte y relleno. Una de las características que debe cumplir es tener un alto grado de compacidad, lo que se logra colocando material bien graduado. Cuando el material que compone al núcleo es de menor tamaño que los huecos de su revestimiento, tiene el riesgo de escapar a través de ellos, por lo que es necesario colocar una o varias capas intermedias que cumplan la condición de filtro.

1.2.4 Capa secundaria

Es la capa intermedia entre el núcleo y la coraza, la cual sirve para evitar el desplazamiento de partículas del núcleo hacia el exterior de la estructura. También sirve para soportar los elementos de la coraza. El material de esta capa debe cumplir con la condición de filtro citada en el apartado anterior. Puede estar formada por una o varias capas, cada una al menos con dos capas de material utilizado en su construcción. Esta capa se coloca inmediatamente después de terminado el núcleo.

1.2.5 Coraza

La coraza es la parte ubicada en el exterior de la estructura. Está formada por una o dos capas de elementos, los cuales deben resistir la acción directa del oleaje. La coraza de las escolleras y rompeolas constan de un cuerpo o “tronco” y de un “morro”. El cuerpo comprende desde el arranque en

la línea de costa hasta unos 20 –50 m antes del final de la estructura, y el morro es el tramo final. Debido a que el morro es la parte que más está expuesta al oleaje, en él se colocan los elementos más pesados.

La coraza tiene la función de absorber con eficiencia la energía de las olas. Debe contener un fuerte porcentaje de huecos, condición que se logra colocando piedras de tamaño uniforme. A mayor porcentaje de huecos tiene mayor capacidad para absorber la energía de la ola. Es por ello que el trabajo de explotación de los bancos de roca para obras marítimas es un proceso especial, muy cuidadoso y que debe realizarse con equipo y personal adecuado, que lo hace diferente a otro tipo de explotación de bancos de roca. La corona del rompeolas debe ser suficientemente ancha para permitir el acceso al equipo de construcción.

La coraza puede ser de roca o de elementos prefabricados, dependiendo de las condiciones locales y muy especialmente de los materiales de construcción disponibles.

1.2.5.1 Coraza de enrocamiento

La coraza de enrocamiento consiste en un conjunto de fragmentos de roca o piedras naturales de diferentes tamaños y formas, colocadas al azar o en alguna forma especial. Los taludes y el peso de los fragmentos se diseñan de manera que la estructura pueda resistir la acción del oleaje esperado. Se adapta a cualquier profundidad de agua y puede prácticamente construirse sobre cualquier clase de suelo.

Tiene como principales ventajas que los daños son fácilmente reparables y la acción del oleaje reflejado es mucho menor que el que se presenta en una estructura a base de un muro sólido. Entre sus desventajas está la gran cantidad de material requerida, lo que representa un alto costo inicial si no se dispone de una distancia económica de acarreo y la cantidad de energía del oleaje que se propaga a través de la estructura, que puede afectar su estabilidad si no es lo suficientemente alta e impermeable.

1.2.5.2 Coraza de elementos prefabricados

Los elementos prefabricados para coraza tienen formas geométricas diversas y se construyen de concreto. Se utilizan cuando no se dispone de roca natural cerca del sitio donde se va a construir la estructura. Existen diferentes formas de este tipo de elementos como los tetrápodos, cubos, tetraedros, tribarras, y dolos (véase la Fig 13).

1.3 Hidráulica marítima

En hidráulica marítima es importante conocer las características de los vientos, mareas, oleajes y corrientes. A continuación se mencionan algunos aspectos importantes de ellos.

1.3.1 Vientos

Se denomina viento al desplazamiento de las masas aéreas y usualmente se mide en su componente horizontal. Es parte esencial del mecanismo termodinámico de la atmósfera, conductor de humedad y de calor, por lo que es una corriente horizontal o casi horizontal de aire que circula con relativa proximidad a la superficie terrestre (Ref. 3).

La diferencia de temperaturas engendra una diferencia de presiones y esto a su vez el viento. La fuerza que obliga a los cuerpos a moverse en una trayectoria curva se llama fuerza centrípeta y está siempre dirigida hacia el centro de rotación; la equilibrante de ésta se denomina fuerza centrífuga.

Los movimientos verticales del aire (cuando ocurren) tienen gran importancia en la formación de nubes, tormentas eléctricas, precipitaciones, etc. Sin embargo, su magnitud es mucho menor que los movimientos horizontales.

Es primordial que se cuente con registros del viento reinante o del más frecuente y de intensidad máxima o dominante, los cuales permitirán proyectar la orientación adecuada de una estructura

marítima. Dichos registros pueden obtenerse de datos estadísticos del lugar o bien recurriendo a las cartas internacionales.

Los elementos que caracterizan al viento son dirección, intensidad (o velocidad) y frecuencia.

Se conoce como dirección al punto cardinal de donde sopla el viento, el aparato utilizado para su medición es la veleta y los resultados se representan en la rosa de vientos (Fig. 14), la cual puede referirse a 8, 16 o 32 direcciones, dependiendo del detalle que se desee. También existen los diagramas de vientos, que son representaciones vectoriales de las características de los vientos; usualmente se manejan tres tipos de diagramas (Ref. 1):

- Diagrama de frecuencia o de “n”. Se le conoce como diagrama de frecuencias y representa el número de veces (n) con que el viento incide de cierta dirección. El viento que se toma en cuenta es el viento reinante (que sopla con mayor frecuencia).
- Diagrama de velocidad media por frecuencia o de “nv”. En este diagrama se grafican los productos de las frecuencias por las velocidades medias de presentación; se le conoce como diagrama de agitación de ó de Lenz.
- Diagrama de velocidad media cuadrática o “ $\sqrt{nv^2}$ ”. Contempla los datos concernientes al cuadrado de la velocidad máxima de presentación. La velocidad que se utiliza es la del viento dominante (el que sopla con mayor intensidad).

La intensidad es la velocidad con que sopla el viento y se expresa en m/seg ó km/hr. Por su velocidad los vientos se clasifican según la Escala de Beaufort (Tabla 1) (Ref. 3).

La frecuencia es el número de veces que se presenta el viento con determinadas características durante un lapso cualquiera.

Tabla 1 Escala de Beaufort

No de Beaufort	Descripción	Velocidad m/s	Condiciones del mar
0	Calma	< 0.3	Mar llano
1	Aire ligero	0.3 a 1.5	Ondulación pequeña en la superficie sin producir espuma.
2	Brisa leve	1.6 a 3.3	Ola de poca altura que no rompe, mar rizada
3	Brisa suave	3.4 a 5.4	Oleaje que empieza a romper, poca espuma.
4	Brisa moderada	5.5 a 7.9	Olas de poca altura, pero de mayor longitud, oleaje aborregado.
5	Brisa fresca	8.0 a 10.7	Crece la longitud de la ola, generalización de oleaje aborregado.
6	Brisa fuerte	10.8 a 13.8	Se inicia la formación de grandes olas que rompen rociones de espuma al aire.
7	Vendaval moderada	13.9 a 17.1	Crece el mar, mar muy gruesa.
8	Vendaval fresco	17.2 a 20.7	Olas de altura notable, mar arbolada.
9	Vendaval fuerte	20.8 a 24.4	Olas muy grandes. La espuma empieza a afectar la visibilidad.
10	Vendaval total	24.5 a 28.4	Olas considerables, mar blanco de espuma.
11	Tormenta	28.5 a 33.5	Olas extraordinariamente grandes, visibilidad escasa a causa de la espuma.
12	Huracán	Más de 33.6	Atmósfera y mar completamente llena de espuma, visibilidad casi nula.

Los contrastes de temperatura que existen entre las regiones polares y las ecuatoriales forman el manantial de energía de la circulación general del viento. Al aire frío que viaja por las cercanías del suelo, del polo al ecuador, se le llama Alisio. Por otro lado, las altas temperaturas que existen en las regiones ecuatoriales ocasionan un rápido movimiento ascendente de aire, y por consecuencia, una corriente de retorno llamada de Contra Alisio.

Existen otros tipo de vientos a considerar como los monzones, los vientos de generación local, y los vientos accidentales (vientos ciclónicos tropicales, vientos permanentes y vientos locales).

- **Monzones.** Son ondas alternativamente calientes y frías, estacionales; en lugar de producirse el cambio de régimen cada 3 días, se produce cada 6 meses.
- **Vientos de generación local.** Se producen a lo largo de la costa. Estos movimientos son las brisas diurnas y nocturnas, las cuales se producen debido a que por las noches la tierra se enfría más rápidamente que el mar.
- **Vientos accidentales.** Se deben al paso de ciclones o anticiclones móviles por la región del “frente polar”. Se puede agrupar, por su importancia, en tres categorías:
 - a) **Vientos ciclónicos tropicales (Ref. 4).** Son los que generan las olas más peligrosas para las estructuras portuarias; por su intensidad se clasifican de acuerdo a la Escala Saffir Simpson (ver Tabla 2).
 - b) **Vientos permanentes.** También llamados vientos oceánicos; generan el oleaje reinante y dominante que son la base del estudio del régimen de las costas.
 - c) **Vientos locales.** Influyen en el diseño portuario para la orientación de muelles, transporte eólico de arenas y maniobras de los buques; su influencia sobre el oleaje es prácticamente nula.

Tabla 2 Escala Saffir Simpson

Categoría	Velocidad, km/hr
Depresión tropical	< 64
Tormenta tropical	65 – 118
Huracán clase 1	119 – 154
Huracán clase 2	155 – 178
Huracán clase 3	179 – 210
Huracán clase 4	211 – 250
Huracán clase 5	> 250

También es muy importante conocer la zona de generación o "fetch", que es la superficie de agua en donde actúa el viento con intensidad casi constante y con una dirección tal que genere oleaje capaz de propagarse hasta el punto de interés considerado. La velocidad puede tomarse constante si varía ± 5 nudos (2.5 m/s) de la media.

Con objeto de prever las condiciones meteorológicas, los observatorios forman las llamadas cartas de tiempo, donde todos los puntos de igual presión atmosférica están unidos por líneas que se llaman isobaras. Generalmente la diferencia de presiones entre dos de éstas es de 3 o 5 milibares. Durante meteoros de consideración se hacen cartas de tiempo a lapsos de 6 horas. El Servicio Meteorológico Mexicano dispone de datos muy útiles, sobre todo para ciclones del Golfo de México.

1.3.2 Mareas

Las mareas son movimientos periódicos observados en las playas, representados por el diario ascenso (pleamar) y descenso (bajamar) del agua (Ref. 5). Cuando ocurre dos veces al día se le denomina marea semidiurna, y cuando solo ocurre una vez al día se le llama marea diurna. También puede ocurrir una combinación de éstas, que se caracterizan por tener dos pleamares y dos bajamares notablemente diferentes en un mismo día, y se denomina marea mixta. En las costas del Océano Pacífico se presenta el tipo de marea semidiurna y en el Golfo de México la marea diurna.

Las mareas son importantes no sólo por los niveles que alcanza el agua, sino también por las corrientes que originan.

Para determinar el nivel de operación de una estructura marítima, se pueden referir las elevaciones al Nivel de Bajamar Media (en el Golfo de México) y el Nivel de Bajamar Media Inferior (en el Pacífico), siendo muy importante conocer la pleamar máxima registrada, la bajamar mínima registrada y el nivel medio del mar, al cual se refieren otras elevaciones. Estos datos pueden obtenerse de las Tablas de Predicción de Mareas que publica el Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

El mismo Instituto de Geofísica ha establecido para los principales puertos, planos de mareas con la siguiente información:

- Altura máxima registrada. Nivel más alto registrado en la estación por efecto de un tsunami o ciclón.
- Pleamar máxima registrada (PMR). Nivel más alto registrado debido a las fuerzas de marea periódica, o también a que tengan influencia sobre las mismas los factores meteorológicos.
- Nivel de pleamar media superior (NPMS). Promedio de la más alta de las dos pleamares diarias, durante el período considerado en la estación (mareas semidiurna y mixta).
- Nivel de pleamar media (NPM). Promedio de todas las pleamares durante el período considerado en cada estación. Cuando el tipo de marea es diurna, este plano se calcula haciendo el promedio de la pleamar más alta diaria, lo que equivale a que la pleamar media en este caso es lo mismo que la pleamar media superior.
- Nivel medio del mar (NMM). Promedio de las alturas horarias durante el período registrado en la estación.

- Nivel de media marea (NM). Se obtiene promediando los valores de la pleamar media y la bajamar media.
- Nivel de bajamar media (NBM). Promedio de todas las bajamares durante el periodo considerado en la estación. Cuando el tipo de marea es diurna, este plano se calcula haciendo el promedio de la bajamar más baja diaria, lo que equivale a que la bajamar media en este caso sea lo mismo que la bajamar media inferior.
- Nivel de bajamar media inferior (NBMI). Promedio de la más baja de las dos bajamares diarias, durante el período considerado en la estación (marea semidiurna y mixta).
- Bajamar mínima registrada (BMR). Nivel más bajo registrado debido a las fuerzas de marea periódica, o también que tengan influencia sobre las mismas los factores meteorológicos.
- Altura mínima registrada. Nivel más bajo registrada en la estación debido al efecto de un tsunami o ciclón.

Cada uno de los niveles generados por las mareas son empleados para definir diferentes elevaciones en el proyecto de las obras marítimas. En general, los planos de referencia en los proyectos, suelen ser el NBM. o NBMI. dependiendo del tipo de marea.

La medición de mareas se realiza con los mareómetros o con mareógrafos. Los mareómetros o regla de mareas, son indicadores de los niveles de mareas, sin ningún tipo de dispositivo, por lo que es necesario que una persona efectúe las lecturas. Los mareógrafos están constituidos por un mecanismo o dispositivo, que permite obtener un registro prácticamente constante de los niveles del agua para cualquier fase del marea.

1.3.3 Oleajes

El oleaje es provocado por la variación del nivel del mar ocasionado por el viento o las mareas, mismas que tienen un largo período y no son perceptibles en pequeños lapsos de observación. Son importantes las características de las olas dominantes y de las olas reinantes, tanto altura, período y dirección de donde provienen; también son importantes su refracción, difracción y reflexión.

La dirección del frente de olas y la forma de su ocurrencia es de vital importancia para determinar el período en que el equipo puede trabajar. Además es esencial para estimar la dirección del arrastre litoral, las presiones sobre las estructuras o la penetración del oleaje en un recinto portuario. En mar abierto, la dirección del oleaje se estima a partir de la dirección del viento, mientras que en la cercanía a la costa dicho procedimiento resulta ser insuficiente debido a la refracción del oleaje por efecto de la configuración batimétrica.

En el diseño de rompeolas, escolleras o espigones se recomienda elegir, en general, una ola con un período de recurrencia de 100 años.

Para conocer la propagación de las ondas al pasar éstas de profundidades indefinidas a reducidas se utiliza el Método de Planos de Oleaje (Ref. 6), ideado por Iribarren. La hipótesis fundamental con la que opera, es la conservación del período, ya que se admite, al estudiar el modelo de onda, que el número de ellas que pasa por dos puntos cualesquiera de la plataforma costera, en un intervalo de tiempo, es el mismo.

El método consiste en determinar la forma de propagación del oleaje, de características y orientación conocidas en alta mar, al avanzar hacia una costa determinada, en la que se conocen sus curvas batimétricas, así como la forma y orientación de la costa natural y de sus obras de abrigo ejecutados o por ejecutar.

Como existe una relación directa entre los elementos constitutivos de una obra marítima y el oleaje de diseño, el conocimiento de este último, ligado a su frecuencia de incidencia, permite realizar estudios económicos evaluando la magnitud de la obra con su probabilidad de falla.

Es necesario conocer la variación de las características del oleaje en el sitio respecto a sus frecuencias de incidencia. A falta de información directa, el criterio usual para determinar la variación estadística del oleaje en cierto punto, se basa en el análisis de las condiciones climatológicas más desfavorables en un cierto lapso en la zona circunvecina al punto. Seleccionadas las perturbaciones se determinan, para cada una de ellas, las características del oleaje que generan, haciendo uso de alguno de los criterios de predicción de oleaje. Posteriormente se ordenan los valores de las características del oleaje respecto al intervalo analizado y se deduce su variación en relación con sus frecuencias de incidencia.

El análisis del oleaje se realiza para determinar su altura, longitud, dirección, período y probabilidad de ocurrencia, y la manera más común de hacerlo consiste en instalar un ológrafo, el cual mide amplitud y longitud. Esta información, junto con las olas observadas y datos estadísticos, proporcionarán las olas de diseño. Para un diseño racional se requerirá contar con cuando menos un año de mediciones.

1.3.4 Corrientes

Se pueden definir a las corrientes como los desplazamientos de una masa de agua, determinadas por su dirección y velocidad. Pueden ser producidas por la acción del viento, la variación de mareas y el oleaje. En ocasiones llegan a ser oscilatorias. Sus efectos en las obras marítimas son determinantes en la realización del proyecto, ya que pueden causar socavación en la estructura.

La configuración litoral y la topografía del fondo contribuyen a matizar a las corrientes, cualquiera que sea su origen; también influye la inercia de la corriente.

Los tipos de corrientes más importantes son:

- a) Corrientes oceánicas. Las causas que las generan son esencialmente el viento y el gradiente. El viento como elemento generador opera por efecto del arrastre de las moléculas superficiales, las cuales a su vez, por rozamiento actúan sobre las moléculas más profundas, según sea la intensidad y persistencia del viento, por lo que se puede decir que son prácticamente superficiales y de poca intensidad. El gradiente como elemento productor de las corrientes está

determinado por las diferencias de densidad de las masas de agua, la cual es función de la temperatura y la salinidad.

- b) Corrientes locales inducidas por el viento. En este tipo de corrientes son muchos los parámetros que intervienen, por lo que lo más conveniente en un caso práctico es realizar mediciones directas.
- c) Corrientes de mareas. Son producidas por la elevación y descenso periódico del nivel del agua, debido a que genera movimientos notables en las masas líquidas, sobre todo en zonas costeras en donde la comunicación con el mar abierto está relativamente restringida, como es el caso de estuarios, bahías y desembocaduras.
- d) Corrientes producidas por oleaje. Son las que originan y regulan, en su mayor parte, el movimiento de los sedimentos costeros. En función de la dirección de su movimiento se clasifican en:
 - Corrientes normales a la costa. Generadas por la necesidad de evacuación del volumen de agua sobrante que ha sido empujado y acumulado contra la playa, debido a la acción del oleaje y del viento.
 - Corrientes paralelas a la costa. Provocadas por el ángulo de incidencia que forma el oleaje en la playa, ya sea debido a la refracción que sufre en su acercamiento o por la dirección con que fue generado, y se forman entre la línea de rompiente y la orilla. También reciben el nombre de corrientes litorales y se considera que son las principales responsables de transportar los sedimentos a lo largo de la costa.

Además de las corrientes anteriores, existen otras cercanas a la costa, como las generadas por ríos que desembocan en el mar.

La medición de las corrientes marinas se realizan con diferentes dispositivos. Uno de los más utilizados es el flotador de deriva, que permite conocer la velocidad de las corrientes a la profundidad deseada,

así como la dirección y tendencia de la misma; estos flotadores se posicionan desde tierra a cada determinado tiempo, con base en puntos conocidos de una poligonal playera.

Otros aparatos de medición son los llamados corrientómetros, que pueden ser del tipo mecánico o electrónico. Estos aparatos se introducen al agua desde una lancha y registran la velocidad con base en una propela calibrada y un contador de revoluciones.

REFERENCIAS

1. Frías Valdez A. y Moreno Cervantes G., Ingeniería de Costas, Limusa. México. 1988.
2. Gonzáles Salas Dante A., Apuntes de Hidráulica e Ingeniería Marítima, Escuela de Ingeniería de Mazatlán. Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS), 2001.
3. Pindter Vega Julio, Apuntes de Ingeniería Marítima, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), 2004.
4. Servicio Meteorológico Nacional, 2004.
5. Bustamante Ahumada R., Ingeniería Marítima, Temas Marítimos, México, 1976.
6. Iribarren C. R., Obras Marítimas, Dossat, Madrid, 1990.

CAPÍTULO II

2. PRÁCTICA ACTUAL Y CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE PROTECCIÓN MARÍTIMA EN SINALOA

En este capítulo se describe la práctica actual que concierne a las obras de protección marina en el Estado de Sinaloa. En primer término se hace referencia a la problemática existente en las desembocaduras de ríos y protección del mar, luego lo que se refiere a legislación y una breve descripción de los estudios que se realizan. Por último se presenta un caso práctico histórico de la zona sur del Estado, analizando la información disponible y las razones por las que no ha tenido el funcionamiento adecuado.

2.1 Problemática

Aunque se han construido varias obras de protección marítima en Sinaloa, no se cuenta con experiencia suficiente para funcionen adecuadamente, ya que en la mayoría de los casos no se les da la importancia debida. Muchos de los proyectos de estas obras están incompletos, no cuentan con los estudios necesarios, carecen de información real del lugar y de memorias de cálculo y no mencionan las especificaciones o reglamentos en que se fundamentaron. Lo anterior provoca que se repitan los estudios cuando la estructura comienza a presentar problemas y requiere de reparaciones.

Por otra parte, no se cuenta con supervisión capacitada que verifique si los estudios se efectuaron correctamente, si los criterios utilizados son los más adecuados y si los resultados obtenidos coinciden con la realidad. Además, es muy frecuente que después de terminada la construcción de una estructura marítima, se olvida observar su comportamiento y efectuar el mantenimiento requerido. Es claro que con una conservación adecuada la estructura tendría una mayor vida útil, con reparaciones menores en tiempo y costo.

También existen fallas en esas estructuras por un proceso constructivo deficiente, que a pesar de que no ha funcionado correctamente se sigue utilizando sin corregirse.

2.2 Legislación

La poca atención que existe en la construcción de obras de protección marítima hace que no exista una legislación local que rija este tipo de obras. Las leyes y reglamentos en las que se basan son las que se aplican de manera general en el País.

Las Dependencias que realizan este tipo obras en el Estado son la Administración Portuaria Industrial (API) y Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (CONAPESCA). La primera es la encargada de la construcción de estas obras en el puerto de Mazatlán, y la segunda en el resto del Estado. Ambas cumplen con la siguiente legislación:

a) Leyes

- Ley de puertos
- Ley de navegación

b) Reglamentos

- Reglamento de la ley de puertos
- Reglamento de la ley de navegación.

Estas leyes y reglamentos son publicadas por la Secretaría de Marina.

Los trámites para la obtención de los permisos necesarios para la construcción de las obras de protección marítima, se gestionan con las diferentes dependencias estatales y federales correspondientes.

2.3 Estudios

Los estudios que se efectúan en el Estado de Sinaloa son los siguientes:

2.3.1 Estudios topográficos

Estos estudios se realizan con el fin de conocer la configuración de la tierra y para servir de apoyo a los levantamientos batimétricos en las zonas tanto marítimas como fluviales, por lo que las poligonales de apoyo se colocan en lugares sin problemas de visibilidad. Para llevar a cabo estos estudios se utilizan los siguientes aparatos:

- Tránsito o teodolito, para medir ángulos horizontales
- Nivel, para determinar la elevación del terreno
- Distanciómetro, para medir distancias, aunque se utiliza todavía la cinta métrica.
- Sistema de posicionamiento global (GPS)¹. Se utiliza para la conocer la orientación astronómica.

Los análisis se realizan con los métodos topográficos usuales para obtener los rumbos y coordenadas de cada punto. El banco de nivel en el que se apoyan para llevar a cabo la nivelación de las poligonales, está referenciado al NBMI.

¹ Sirve para dar la ubicación exacta del sitio mediante señales de satélites y mediante coordenadas (x ; y)

2.3.2 Estudios batimétricos

Los estudios batimétricos se llevan a cabo para conocer la profundidad del fondo fluvial o marino. Para lo cual, se toman como puntos de partida los puntos de referencia utilizados en los estudios topográficos.

En Sinaloa, los levantamientos batimétricos realizados en los últimos 15 años se hacen desde una embarcación, con la ayuda de dispositivos colocados en tierra tales como GPS y tránsito, para ubicar su posición. La embarcación está equipada con computadora, GPS, ecosonda e impresora, para efectuar el levantamiento. El recorrido se hace a una velocidad constante, y de esta manera se obtienen los resultados requeridos. De tal manera que cuando la embarcación llega al puerto, ya se tienen todos los resultados plasmados en papel.

2.3.3 Estudios de vientos

Para estos estudios se recopilan datos obtenidos de observaciones directas en diversos sitios, realizados por el Servicio Meteorológico Mexicano o por la Secretaría de Marina. La Ciudad de Mazatlán cuenta con una estación meteorológica, por lo que los datos que se utilizan son los proporcionados por dicha estación.

La dirección y velocidad del viento se miden con anemómetros; de manera simultánea, y se emplea la veleta para conocer la dirección del viento.

2.3.4 Estudios mareográficos

Los niveles del mar se obtienen instalando mareógrafos en la zona en estudio; también se utilizan las tablas de mareas editadas por el Instituto de Geofísica de la UNAM. La mayoría de las veces se comparan los resultados obtenidos de la regla de mareas contra los editados por la UNAM.

2.3.5 Estudios de oleajes

Se realizan para determinar la altura, longitud, dirección, período y probabilidad de ocurrencia de las olas, y poder definir los programas de trabajo con base en las condiciones del mar, bajo las cuales pueden trabajar los diferentes tipos de equipo o estructuras. El procedimiento más utilizado consiste en instalar un ológrafo, el cual mide amplitud y longitud. Esta información, junto con las olas observadas y datos estadísticos, proporcionan las olas de diseño.

2.3.6 Estudios de corrientes

Estos estudios se realizan para establecer las características de las corrientes próximas al área que se requiere estudiar, para lo cual se utilizan flotadores con pantalla de deriva, que son monitoreados desde tierra con un sistema de posicionamiento. Los puntos que se toman de referencia para la realización de este tipo de estudios son las poligonales del levantamiento topográfico.

2.3.7 Estudio de transporte de sedimentos

Este estudio se realiza con el fin de predecir si se tendrá una condición de equilibrio ó existirá erosión o depósito, así como determinar las cantidades de transporte de sedimentos. Este parámetro se determina por métodos analíticos, el que más se utiliza es el de Coastal Engineering Research Center, U.S.A. (CERC) (Ref. 1).

2.3.8 Estudios de bancos de material

En Sinaloa, los estudios de bancos de material realizados para la construcción de obras de protección (de enrocamiento), tienen como propósito localizar un banco que cuente con las características requeridas para saber si puede obtenerse la cantidad de roca necesaria para la construcción de la estructura, en caso contrario, se estudian otros bancos que cumplan con las características necesarias.

El banco a explotar, debe contar con una roca que tenga el peso mínimo requerido según los cálculos, y ésta se emplea en la construcción de las diferentes capas de la estructura, por lo que se obtiene roca de diferentes tamaños. También se definen los caminos para transportar el material de la manera más fácil y económica posible.

Al banco de material se le realizan las pruebas correspondientes para conocer su granulometría, peso específico, desgaste, principalmente.

2.3.9 Estudios ambientales

Estos estudios únicamente se han realizado para la construcción de la escollera de la Marina del Cid, en Mazatlán. En todas las otras construcciones que existen en el Estado no se realizó dicho estudio.

2.3.10 Estudios hidrológicos

Estos estudios se realizan únicamente para la construcción de escolleras, debido a que para los rompeolas y espigones no es necesario. Dicho estudio consiste solamente en investigar en la estación meteorológica de Mazatlán, la avenida máxima que se ha presentado en el Río sobre el que se va a construir la estructura.

2.4 Caso histórico

El caso que se presenta se refiere a la escollera construida en la desembocadura del Río Baluarte, que proviene de la Sierra Madre Occidental y desemboca al sur del Estado de Sinaloa, entre los poblados de Agua Verde y Chametla (Ref. 2).

Esta obra se realizó porque el río arrastra gran cantidad de sedimentos que propician tanto la formación de una barra que impide que las mareas penetren en los cuerpos interiores, así como el azolvamiento

de los cuerpos de agua de lagunas y esteros del Caimanero y los Cerritos. Debido a que en esta zona la pesca y el cultivo de camarón son las fuentes de ingresos principales, los pescadores y las granjas acuícolas se ven afectados directamente por esos azolvamientos.

Desafortunadamente el objetivo que se planeó con dicha estructura no ha dado el resultado esperado ya que la alternativa elegida, las estrategias para desarrollar el proyecto y el proceso constructivo no fueron las adecuadas para las condiciones del lugar. En las Figs. 15 y 16 se presentan fotos de la desembocadura del Río Baluarte, donde puede apreciarse su azolvamiento.

2.4.1 Estudios realizados

Los estudios que se realizaron para la escollera fueron:

- a) Estudios topohidrográficos, costero y fluvial, incluyendo reconocimientos de la zona, poligonales de apoyo, nivelación, seccionamiento playero y marginal, y batimetría marina y del río.
- b) Estudios del régimen de costa, con datos de mareas, oleaje, corrientes litorales y transporte litoral.
- c) Estudios del régimen fluvial, con información de hidrología y transporte de sedimentos.

2.4.2 Análisis

El análisis se realizó con la información física, meteorológica y oceanográfica que existe de la zona en estudio, y con los resultados de mediciones físicas en el área.

a) Topografía

Para la realización de los levantamientos topográficos, se identificaron los sitios factibles para localizar los vértices de las poligonales de apoyo y su liga con el banco de nivel oficial, lo que permitió identificar el sistema que conforman los cuerpos de agua interiores de la zona y su interconexión con el río, conocer los caminos de acceso a la zona y a los sitios donde fuera posible ubicar las estructuras de estabilización de la desembocadura, así como determinar la geología de la zona y posibles formaciones de explotación o susceptibles de hacerlo, para suministrar los materiales pétreos que se requieran para las estructuras de estabilización.

Debido a la configuración del área en estudio y a las posibilidades físicas de localización de los diferentes vértices, en sitios accesibles, se decidió dividir las poligonales de apoyo en:

- a) Poligonal playera. En el frente marítimo se ubicaron dos poligonales abiertas a partir del centro de la desembocadura del río, que cubrieran los 4 km del frente marítimo en estudio.
- b) Poligonales marginales. En las márgenes del río se situaron dos poligonales abiertas, de poco más de 3 km de longitud cada una.

El equipo utilizado para el levantamiento fue el siguiente:

- Tránsito Wild T – 2, de 1^o de aproximación, para medir los ángulos horizontales.
- Distanciómetro de rayos infrarrojos, marca Beetle, modelo 1600 S, con alcance de 3 000 m y aproximación de + 1 cm/km, montado sobre el tránsito antes descrito.
- Tránsito descrito y un GPS para la orientación astronómica.

Con la orientación astronómica se obtuvieron las coordenadas y rumbos de las Tablas 3 y 4.

Tabla 3. Coordenadas del sitio

Coordenadas	
X	Y
394 805	2 524 810

Tabla 4. Rumbo de los lados orientados

Lado	Rumbo
VT2-D a VT3-D	N 34° 26' 53" W
VT4-I a VT5-I	S 60° 48' 56" E
VTR10-I a VTR10-D	N 39° 54' 06" W

b) Nivelación

La nivelación de las poligonales se apoyó en un banco de nivel (PI = 0+308.20), que la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) tiene localizado a la derecha del camino que va del poblado de Chametla al Tapo Majahual, sobre una mojonera a 350 m antes de éste, cuya elevación es de +1.179 m. De este banco se corrió una nivelación a la regla de mareas, instalada en la margen del río, aproximadamente a 2 km de su desembocadura.

El nivel de referencia especificado para el levantamiento fué el Nivel de Bajamar Media Inferior (NBMI). Las cotas determinadas tanto para el banco de SARH, como para la regla de mareas instalada en la Estación de medición de mareas, son las de la Tabla 5.

Tabla 5. Elevaciones del banco de SARH y de la regla de mareas

Banco	Elevación referida a la cota de Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH)	Elevación referida al NBMI
Banco de SARH	1.179 m	2.374 m
Regla de mareas	0.646 m	1.841 m

El equipo utilizado para la nivelación fue un nivel automático marca Wild modelo NA – 2.

c) Batimetría marina y del río

El levantamiento se efectuó desde una embarcación en la que se instaló un equipo de posicionamiento de microondas para definir la ubicación de la embarcación respecto a dos puntos fijos situados en tierra, y una ecosonda para medición de profundidades. Los resultados del levantamiento fueron registrados en casete y en papel.

El equipo utilizado fue el siguiente:

- Posicionamiento. Se usó un equipo de microondas Autotape, de 3 rangos, considerando dentro de los sistemas de corto alcance (50 km), el cual funciona mediante la medición de dos o tres distancias desde el punto móvil que representa la embarcación a estaciones fijas, de coordenadas conocidas.
- Computadora. El equipo de posicionamiento se complementó con una computadora interfase Hewlett – Packard 85B, la cual programó los recorridos y controló la navegación de la embarcación.
- Ecosonda. Se utilizó una ecosonda hidrográfica Raytheon DE – 719C, la cual permitió conocer los tirantes de agua.
- Dispositivo digitalizador. Convirtió las magnitudes gráficas en magnitudes numéricas.

Con el levantamiento batimétrico se detectaron tirantes de agua máximos de 8 m en los extremos NW y SE del área del levantamiento y de 4.5 m, a una distancia de un kilómetro de la costa, sobre la desembocadura del río. Las elevaciones obtenidas en el fondo del río variaron desde +0.8 m respecto al NBMI, hasta los -3.0 m cerca de la desembocadura.

d) Mareas

Los niveles de mareas que se utilizaron son:

Tabla 6. Niveles de pleamares y bajamares

Nivel de pleamar medio superior	0.488 m
Nivel de pleamar medio	0.329 m
Nivel de media marea	-0.012 m
Nivel de bajamar medio	-0.353 m
Nivel de bajamar medio inferior	-0.490 m

El nivel medio del mar considerado fue 0.775 m

e) Oleaje

Para el análisis de oleaje normal en la zona de la desembocadura del río Baluarte, se tomaron los datos de una fuente estadística (Ocean Waves Statistics), en la que la dirección de oleaje más frecuente era la oeste (W) con el 46.8% y noroeste (NW) con el 37.6% y alturas de ola que alcanzan 4 m.

Se utilizó como altura de la ola de diseño (H), la ola rompiente. Según cálculos, la ola máxima que puede alcanzar a la estructura es de $H=4.5$ m, mientras que, una ola significativa con período de retorno de 10 años es de 5.56 m; sin embargo, debido a que esta última rompe antes de alcanzar la obra, se decidió utilizar $H = 4.5$ m.

f) Corrientes litorales

Para establecer las características de las corrientes litorales próximas a la desembocadura del río se programaron dos campañas de medición: la primera se realizó el 28 y 29 de diciembre de 1989, y la segunda el 27 de enero de 1990.

La primera campaña permitió observar una tendencia de la corriente del SE al NW, con velocidades muy bajas, que variaron desde 1 cm/s hasta 28 cm/s. En la segunda campaña se observaron corrientes más definidas, aunque en sentido contrario a las de la campaña anterior; todas toman dirección al SE, con variaciones de 5 cm/seg a 27 cm/seg. Por lo que se concluyó que la velocidad media de la corriente era de 15 cm/s y que puede presentarse en cualquier dirección.

En la medición de las corrientes se utilizaron flotadores con pantalla de deriva, los cuales se monitorearon con un sistema de posicionamiento.

g) Transporte litoral

En el análisis del transporte litoral se tomaron en cuenta las características del oleaje, las direcciones de incidencia y las características del material de la zona de playa. Para evaluar y cuantificar la dirección del transporte en la desembocadura del Río Baluarte, se emplearon las expresiones de Cadwell, Cerc, Larras y Versteegh – Svasek.

Se consideró el promedio de los resultados de los diferentes métodos y bajo un criterio conservador, se optó por el método de Versteegh – Svasek, que proporciona un valor de 1 414 100 m³ anuales.

h) Hidrología

Del registro mensual de gastos medios, máximos y mínimos se calcularon los correspondientes al nivel anual y a los gastos extremos. También se calcularon los valores significativos del coeficiente de escurrimiento, el volumen de escurrimiento medio y el anual. Los valores obtenidos aparecen en las Tablas 7, 8, 9 y 10.

Tabla 7. Gastos medios, máximos y mínimos anuales

Gasto medio	45.30 m ³ /seg
Gasto medio máximo	470.20 m ³ /seg
Gasto medio mínimo	12.00 m ³ /seg

Tabla 8. Gastos extremos

Gasto máximo registrado	14.140 m ³ /seg
Gasto mínimo registrado	0.020 m ³ /seg

Tabla 9. Valores significativos del coeficiente de escurrimiento

Precipitación media anual	1 094.74 mm
Volumen precipitado media anual	5 090.80 millones de m ³
Volumen escurrido medio anual	1 408.20 millones de m ³
Coeficiente de escurrimiento	0.28 millones de m ³

Tabla 10. Volumen de escurrimiento medio y gasto medio anual

Volumen de escurrimiento anual	1 631.15 millones de m ³
Gasto medio anual	52.44 m ³ /seg

i) Transporte de sedimentos

A partir del registro de sólidos de la estación Baluarte, cuyo periodo comprende 25 años, se calculó la concentración de sedimentos. Se obtuvo una concentración media de 0.057%, considerando el volumen de escurrimiento anual de 1631.15 millones de m³ por año y una aportación de sólidos de 930 000 m³/año.

j) Análisis de alternativas

En el análisis de alternativas se llegó a la conclusión de utilizar una combinación que consistió en optimizar la longitud de las escolleras y realizar dragados de mantenimiento, considerando que el volumen que exceda el morro de la escollera podrá introducirse al estuario y se tendrá que dragar.

También se analizaron los valores del coeficiente de trabazón (K_D), utilizando un valor de $K_D = 2$, con un daño esperado del 0 a 5%, contra $K_D = 3.5$, con un riesgo de daño de 10 a 15%. Debido a que el tamaño de la roca resultó muy grande (15 t para profundidades de 4 m), considerando $K_D = 2$, lo cual sería muy difícil de obtener en el banco, se contempló la posibilidad de utilizar elementos de concreto, pero que encarecía considerablemente la obra. Por lo anterior se decidió utilizar el valor de $K_D = 3$, ya que resultaba más económico aceptar el riesgo de mantenimiento de la estructura.

Con base en lo antes expuesto, se hizo una evaluación de alternativas calculando el valor presente (Tabla 11) y considerando un horizonte económico de 15 años y una tasa de interés del capital variable de 10 a 50%.

Tabla 11. Resumen de valor presente (millones de pesos)

Tasa (%)	Profundidad de desplante del morro (m)					
	0	-1.00	-2.00	-3.00	-4.00	-4.50
10	60 845	58 222	40 623	21 662	11 921*	11 925
20	40 126	38 431	27 080	15 048	9 330*	10 032
30	30 176	28 928	20 577	11 871	8 086*	9 123
40	24 631	23 632	16 953	10 101	7 393*	8 617
50	21 178	20 333	14 696	8 998	6 961*	8 301

* Costo mínimo (profundidad óptima)

La solución más económica era la que alcanzaba el nivel -4.0 m, por lo que la alternativa seleccionada consideró dos escolleras de aproximadamente 650 m de longitud cada una con un volumen de 85 000

m³ de roca. Las escolleras fueron rectas, con separación entre morros de 300 m para permitir las descargas de las avenidas.

2.4.3 Diseño

Con los resultados de todos los estudios, se diseñaron las escolleras, tomando en cuenta los datos de la Tabla 12.

Tabla 12. Datos utilizados en el diseño

Tipo de ola de diseño	Rompiente
Tipo de elemento	Roca
Talud	1.5:1
Número de elementos por capa	2
Coefficiente de trabazón	3.5
Peso específico	2.6 t/m ³
Porosidad	37 %
Altura de ola	4.5 m

En el cálculo de los pesos unitarios de los elementos de coraza de las escolleras, se utilizó la fórmula propuesta por Hudson, obteniendo los resultados resumidos en la Tabla 13:

Tabla 13 Características de las secciones de escolleras

Altura de ola de diseño (m)	Prof.	Peso de elementos (kg)			Espesores (m)		Elevaciones (m)		
		Coraza	Capa sec.	Núcleo	Coraza	Capa sec.	Coraza	Capa sec.	Núcleo
0.90	0.0	90	9	1	0.74	0.35	3.16	2.51	2.16
1.70	-1.0	600	60	6	1.40	0.65	3.97	2.81	2.16
2.50	-2.0	1 900	190	19	2.07	0.96	4.84	3.12	2.16
3.30	-3.0	4 340	434	43	2.73	1.27	5.70	3.43	2.16
4.10	-4.0	8 330	833	83	3.39	1.54	6.55	3.73	2.16
4.50	-4.5	11 240	1 124	112	3.75	1.74	7.02	3.90	2.16

Nota: Elevaciones referidas al NBMI (Nivel de Bajamar Media Inferior)

2.4.4 Soluciones

Del análisis de estabilidad de la desembocadura y del análisis de alternativas, se concluyó que para garantizar un buen encauzamiento del río era necesario controlar el volumen de azolves tanto marinos como fluviales. Dado que el prisma de marea era muy pequeño se consideraron escolleras convergentes y un dragado de mantenimiento, y suponiendo que el volumen que excederá el morro se tendrá que dragar.

Se propuso utilizar la solución más económica con dos escolleras rectas de 650 m de longitud y alcanzan el nivel -4.0 m. Esta escolleras requerirán de 85 000 m³ de roca, la separación entre morros fué de 300 m para permitir las descargas de las avenidas.

2.4.5 Conclusiones al análisis del proyecto

Al revisar los estudios efectuados para las escolleras se observó que el volumen de sedimento acumulado en la desembocadura del río fué mayor al calculado en los estudios. Esto ocasionó que la estructura resultara insuficiente, ya que las escolleras no se construyeron lo suficientemente largas, por lo que no alcanzaba a encauzar el río hasta la profundidad requerida. Lo anterior provocó que la velocidad de salida del agua fuera menor que la de entrada, y los sedimentos no alcanzan a salir totalmente, originando la formación de montículos de arena, que obstruyen el libre paso del agua.

Actualmente se realizan nuevamente estudios en la zona, por lo que el costo que resulte de la reconstrucción se sumará al ya erogado.

REFERENCIAS

1. Frias Valdez A. y Moreno Cervantes G., Ingeniería de Costas, Limusa, México, 1988.
2. Secretaría de Pesca (SEPESCA), Informe definitivo de los estudios físicos y proyecto de estabilidad de la desembocadura del Río Baluarte, en Sinaloa.1990.

CAPÍTULO III

3 PROPUESTA DE ESTUDIOS, PROYECTO Y PROCESO CONSTRUCTIVO

La siguiente propuesta es una guía para los involucrados en la construcción de obras de protección marítima, la cual establece una secuencia lógica para su diseño y construcción. La propuesta se fundamenta en lo siguiente:

- El diseño funcional u operacional de una obra de protección marítima se realiza de modo que cumpla la función para la que es requerida.
- El diseño resistente de permanencia, es decir, de las diversas secciones y zona que forma el conjunto, deben de ser capaces de resistir y permanecer útiles durante la vida prevista para la obra.

3.1 Recopilación y análisis de información

En primer término deben definirse, recopilar y analizar toda la información disponible (Ref. 1) como:

- a) Datos fijos. Aquellos cuya variación con el tiempo es muy pequeña (geología, geotecnia, batimetría y topografía, dependiendo del tipo de fondo).

- b) Datos variables. Los que están cambiando continuamente en el tiempo (oleaje, mareas corrientes).

Contando con los datos necesarios, puede diseñarse la estructura con cualquiera de los siguientes métodos:

- a) Métodos empíricos. Basados en fórmulas o teorías más o menos aproximadas, en muchas ocasiones deducidas de ensayos.
- b) Modelos físicos. Intentan reproducir las condiciones de diseño y comprobar el comportamiento de los diversos elementos de las estructuras ante ellas.

Lo ideal sería aplicar el diseño basado en modelos físicos, debido a que los elementos de cada estructura tienen distintos comportamientos, dependiendo de su localización.

3.2 Legislación

Para la construcción de estas obras debe contarse con la autorización de las dependencias correspondientes, las cuales verifican que los proyectos cumplan con los requisitos establecidos y que estén dentro de los límites permisibles en materia de impacto ambiental.

Las autorizaciones para la construcción de obras marítimas en el sur de Sinaloa son las siguientes:

- Autorización de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT)
- Autorización de la Dirección General de Puertos
- Autorización de impacto ambiental
- Autorización de zona federal marítimo terrestre

Los materiales con los que se construyan las estructuras deben cumplir con lo dispuesto en la legislación vigente en materia medioambiental, de seguridad y salud, y de almacenamiento y transporte de productos de construcción.

3.3 Estudios

Tomando en cuenta la lista de estudios y llevándolos a cabo según normas y especificaciones se procede a realizar ésta etapa del proyecto.

A continuación se describen los estudios necesarios que deben efectuarse el proyecto, construcción y buen funcionamiento de obras de protección marítima.

3.3.1 Estudios topográficos

Los levantamientos topográficos se realizan como apoyo para realizar los levantamientos batimétricos tanto en las zonas marítimas como fluviales, por lo que deberán contar con la mejor localización y referencias de las poligonales de apoyo, sin problemas de visibilidad.

Para efectuar dichos levantamientos es necesario contar con un banco de nivel referido al NBMI, tránsito para la medición de ángulos, cinta o distanciómetro para medir las distancias, y un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) para la orientación astronómica.

Es importante marcar la línea de referencia o línea de playa, la cual, como su nombre lo indica consiste en trazar una recta que servirá como línea de arranque.

3.3.2 Estudios batimétricos

El estudio batimétrico permite conocer la profundidad del fondo fluvial o marino. Para conocer esas profundidades se toman como puntos de partida los puntos de referencia utilizados en los estudios topográficos.

Para que los estudios batimétricos se realicen de una manera adecuada y más precisa, es necesario contar con equipo de alta tecnología, ya que los procedimientos y equipo utilizados anteriormente tienen posibilidades de error más grande. Con el equipo y el personal necesario se obtienen los datos de manera más precisa, lo que se refleja en la rapidez y el bajo costo de realizarlo.

Por tal motivo, es preferible efectuar el levantamiento batimétrico utilizando una embarcación en la cual se coloque un equipo capaz de obtener todos los datos requeridos. La embarcación debe contar con un sistema de posicionamiento por satélite (GPS) que guíe la embarcación, a su vez conectado a una computadora portátil que almacena los datos; también contar con una ecosonda para medir la profundidad. Para aumentar la precisión del GPS deben usarse dos equipos, uno en tierra y el otro sobre la embarcación.

El procedimiento consiste en determinar los perfiles del fondo mediante mediciones a cada determinado intervalo de tiempo, manteniendo constante la velocidad de la embarcación al navegar y siguiendo una ruta definida previamente. La posición se define mediante dos puntos, uno en tierra y el otro en la embarcación. La distancia horizontal entre puntos de medición dependerá de la magnitud del área que se levante y puede variar entre 20 m y 100 m dependiendo de la aproximación que se requiera. La ecosonda cuenta con un rollo de papel graduado donde se registran las diferentes profundidades del área en estudio.

Las profundidades del fondo del mar también pueden ser consultadas en "Portulanos"² publicados por la Secretaría de Marina.

² Son cartas de navegación donde se representa la batimetría de los puertos

3.3.3 Estudios de vientos

El viento es un factor muy importante a tomar en cuenta en la construcción de las obras marítimas debido a que puede causar grandes problemas si no se estudia adecuadamente. Al soplar sobre el océano origina corrientes y oleajes, que junto con las variaciones de presión, hace que el agua se mueva y ocasione grandes daños a las estructuras.

Para estos estudios deben recopilarse datos obtenidos de observaciones directas en diversos sitios de la zona en estudio, realizados bien sea por la Dependencia, el Servicio Meteorológico Mexicano o la Secretaría de Marina.

La dirección del viento se mide con una veleta, que es un aparato muy sencillo, empleado durante años y que han dado buenos resultados. La dirección se grafica en la rosa de los vientos, en 16 direcciones, para tener una mayor precisión.

Los resultados de las mediciones se plasman en los diagramas de vientos. Se recomienda utilizar el diagrama de frecuencias, que es más sencillo de realizar e interpretar. La información que se plasma en los diagramas puede ser representativa del régimen mensual, trimestral, anual o de un periodo mayor de observación.

3.3.4 Estudios mareográficos

Las mareas son importantes en la construcción de obras marítimas, debido a que sus niveles son empleados para definir las diferentes elevaciones en el proyecto.

Para conocer de manera precisa los movimientos y características de las mareas y sus diferentes niveles, es imprescindible colocar un mareógrafo automático en un sitio protegido de la costa. Este aparato está constituido por un mecanismo o dispositivo que permite obtener un registro prácticamente constante de los niveles del agua para cualquier fase de la marea. También se pueden obtener los

datos de las Tablas de Predicción de Mareas que publica el Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México.

3.3.5 Estudios de oleajes

Uno de los requerimientos indispensables para el diseño de las obras de ingeniería en el mar y en la costa es conocer las características del oleaje. Las que corresponden al oleaje máximo seleccionado para dimensionar la obra, se le designan como "oleaje de diseño".

Para obtener las características del oleaje se instala un ológrafo, que mide amplitud y longitud de éste. Dicha información, junto con las olas observadas y datos estadísticos, proporcionarán las olas de diseño. Debido a que no se obtiene toda la información requerida mediante la observación directa, se deben analizar las condiciones climatológicas más desfavorables en un cierto lapso de tiempo, en la zona circunvecina al punto.

El análisis del oleaje se realiza con el fin de obtener la altura, longitud, dirección, período y probabilidad de ocurrencia, además de definir los programas de trabajo con base en las condiciones del mar, bajo las cuales trabajarán los diferentes tipos de equipo o estructuras. Para un diseño racional se requerirá contar con cuando menos un año.

3.3.6 Estudio de corrientes

Los efectos de las corrientes son determinantes en la realización del proyecto, por la socavación que pueden causar en la estructura. Para determinar las velocidades de las corrientes es recomendable colocar corrientómetros en diferentes puntos y profundidades, ya que es la forma de obtener resultados confiables.

3.3.7 Estudios hidrológicos

Este estudio se realiza con el fin de obtener resultados de las precipitaciones y avenidas máximas y mínimas. Únicamente se llevan a cabo para escolleras. Es importante conocer lo siguiente:

- Morfología de la cuenca hidráulica en la que se encuentre el proyecto, con lo que es posible determinar el área y forma de la cuenca, pendiente del terreno, pendiente del cauce y planicies de inundación, necesarios para la determinación del gasto máximo de una corriente y elevaciones en su caudal.
- Estudios de las crecientes y avenidas de los ríos, importantes en la construcción de puentes y/o construcciones en la ribera de los ríos.
- Proceso de erosión y transporte de material en suspensión que es un aspecto importante a considerar en la construcción de pilas sobre puentes.

3.3.8 Estudios de bancos de material

Es un estudio importante, ya que su costo repercute considerablemente en la construcción de las obras de protección. Los estudios efectuados a los bancos de material se hacen con el fin de encontrar un banco cercano a la zona de construcción, con el material adecuado para la construcción de dichas obras.

Debe estudiarse el volumen de material con que cuenta el banco para saber si puede obtenerse de él la cantidad de roca necesaria para la construcción de la estructura. En caso de que un solo banco de material no proporcione toda la roca necesaria, se deberán estudiar otros bancos que cumplan con las características requeridas.

El banco debe contar con una roca que tenga el peso mínimo requerido según el proyecto, y que podrá emplearse en la construcción de las diferentes capas de la estructura, por lo que tendrá que obtenerse

de diferentes tamaños. También deberán de definirse los caminos para transportar el material de la manera mas fácil y económica posible.

Para la definición de los bancos deben cuidarse varios aspectos como:

- Calidad de los materiales a extraer
- Accesibilidad de los materiales
- Distancias de acarreo

La búsqueda y localización de bancos de materiales puede hacerse por fotointerpretación o mediante reconocimientos terrestres directos, auxiliados con estas.

Es necesario efectuar todas las pruebas necesarias al material para conocer si cumple con todos los requisitos y especificaciones del proyecto y si puede ser utilizada en la construcción.

3.3.9 Estudios ambientales

Cualquier tipo de obra afecta el ambiente natural del lugar, en mayor o menor escala según los cuidados que se tengan para afectar lo menos posible el entorno.

El objetivo de la evaluación ambiental es asegurar que los problemas potenciales sean identificados y tratados en la fase inicial de la planificación y diseño del proyecto. En esta etapa es cuando las alternativas deseables, desde el punto de vista ambiental, pueden considerarse en formas realistas y los planes de implementación y operación pueden ser diseñados para responder a los problemas ambientales con una máxima efectividad.

En la zona costera es necesario tener presente que los espigones, rompeolas o escolleras, implican generalmente una interferencia en el mecanismo natural que regula la línea de borde litoral entre la tierra y el mar. Por tal motivo, toda intervención va a suponer una modificación del medio respecto de su tendencia evolutiva natural. Así, es necesario realizar una manifestación de impacto ambiental ante la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) en donde se explique el impacto

que la construcción de la obra va a causar al medio ambiente. Los requisitos que solicita la SEMARNAT para aprobar la construcción de la obra se presentan en el Anexo A.

Para afectar lo menos posible el medio ambiente es necesario la formulación y ejecución de acciones de protección y preservación de las áreas naturales protegidas y de las zonas de restauración ecológica sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción.

3.3.10 Estudios de transporte de sedimentos

El principal objetivo en el estudio de transporte de sedimentos es predecir si se tendrá una condición de equilibrio, existirá erosión o depósito, y determinar las cantidades involucradas. La cantidad de transporte de sedimentos puede ser determinada por medio de la fórmula propuesta por CERC (Ref. 2).

En ingeniería de costas el acarreo litoral determina el diseño de protecciones costeras.

3.3.11 Estudios geotécnicos

Para propósitos de diseño es necesario obtener muestras de los materiales del fondo hasta las profundidades requeridas, obteniéndose la cantidad de muestras suficientes y determinar sus propiedades. La profundidad del sondeo depende desde luego del tipo de terreno y será del orden de 3 m para arcilla blanda, 1 a 2 m en arena, 0.5 m en arcilla dura y prácticamente nada en roca (Ref. 5).

Para determinar la estabilidad del fondo se requieren conocer las siguientes propiedades:

- Resistencia al esfuerzo cortante
- Peso volumétrico natural
- Densidad de sólidos
- Límites de consistencia líquido y plástico
- Contenido de agua

- Factor de erosión del suelo
- Densidad líquida de la arena
- Relación de vacíos

3.4 Proyecto

En la realización de un proyecto de obras de protección marítima se debe seguir un proceso ordenado, que puede dividirse en las siguientes fases: ingeniería básica e ingeniería de detalle.

3.4.1 Ingeniería básica

Se refiere fundamentalmente a la comprensión de la problemática por resolver, al conocimiento completo de los fenómenos involucrados y los efectos que ellos causen en el medio donde se desee desarrollar una obra de ingeniería (Ref. 1).

De una manera general, en la ingeniería básica aplicada a la ingeniería marítima, se consideran los siguientes aspectos:

- a) Recopilación de la información general existente de la zona de nuestro proyecto.
- b) Ejecución de los trabajos de campo de tipo físico, como son los trabajos topohidrográfico, que permiten conocer la ubicación precisa del proyecto.
- c) Realización de los trabajos geotécnicos, los cuales sirven para indicar las características de los suelos en los que se desplantará el proyecto, estudiando y analizando con detalle los efectos que la estructura por proyectar pueda inducir sobre él.
- d) Medición y/o análisis de la información climatológica y meteorológica, que incluye fenómenos tales como temperatura y precipitación. En particular, deben estudiarse los vientos y determinar

su régimen anual y estacional, así como los ciclones o vientos extremos para la zona en estudio.

e) Medición y/o análisis de la información oceanográfica, en la que se tiene que distinguir:

- Al oleaje, con su régimen anual normal y ciclónico
- A las corrientes oceánicas, costeras o de mareas
- A las mareas astronómicas y de tormenta
- A la dinámica litoral y procesos morfológicos de la costa.

f) El conocimiento de la hidráulica de estuarios, lagunas litoral o desembocaduras de ríos.

g) Las condiciones sísmicas de la zona en donde se realizará el proyecto, ya que este fenómeno impondrá condiciones especiales de diseño.

Para la ejecución de ésta fase es necesario contar con la participación de diversos especialistas, ya que el manejo de todos y cada uno de los parámetros y fenómenos descritos, permitirá tener un conocimiento más completo de las condiciones en las que debemos proyectar y construir la obra.

La culminación de la primera fase debe ser la elaboración de alternativas de proyecto, que deben contener un mínimo de elementos que permita la evaluación de cada una de ellas de manera objetiva y precisa. La mejor alternativa, será aquella que reúna las condiciones de máxima eficiencia para cumplir con el objetivo planteado. Una vez terminada la primera fase se podrá comenzar la ingeniería de detalle.

3.4.2 Ingeniería de detalle

Consiste en elaborar los planos y documentos que harán realidad el proyecto. En esta fase deben entrelazarse los datos de todas las disciplinas involucradas, para lograr que la alternativa seleccionada pueda llevarse a cabo adecuadamente y no presente problemas durante su ejecución.

Los planos deben contener toda información necesaria, incluyendo aparatos utilizados en la realización del plano, nombre, número de plano, escala, fecha, elevaciones.

3.4.3 Diseño de un enrocamiento a talud

El diseño del enrocamiento a talud consiste en determinar tanto los pesos como los espesores de las capas que lo constituyen. Para el diseño de la estructura se utilizan los datos obtenidos en los estudios mencionados anteriormente.

3.4.3.1 Cálculo de los pesos

Para calcular los pesos de las diferentes capas del enrocamiento se recomienda utilizar las fórmulas propuestas por Hudson (Ref. 3) e Iribarren (Ref. 4), ya que las dos han sido utilizados durante muchos años obteniendo buenos resultados (ver Anexo B). Para el cálculo del ancho de la corona y el espesor de las capas se debe utilizar la fórmula correspondiente (Ref. 5) (Ver Anexo B).

3.5 Proceso constructivo

El proceso constructivo debe basarse en las especificaciones generales y particulares de cada proyecto y éstas a su vez en los estudios completos de cada obra, así como en las normas vigentes que apliquen a este tipo de obras.

La forma de construcción de un rompeolas, implica el transporte de los materiales para su vertido al mar. En este procedimiento siempre será muy importante tener un buen control topográfico sobre la colocación de acuerdo a las líneas de proyecto; siempre que existan imprecisiones esta debe ser parada.

En general existen tres métodos de construcción de rompeolas:

- Con equipo flotante
- Con equipo rodante
- Con combinación de ambos

a) Equipo flotante

El transporte de grandes cantidades de material puede realizarse económicamente con equipo flotante, para lo cual se utilizan diferentes tipos de barcazas, difiriendo sólo por el método de vertido:

- Vertido por compuerta (split barges)
- Vertido por el fondo (bottom door barges)
- Vertido por inclinación de la barcaza (tilting barges)
- Vertido lateral (hydraulic side unloading barges)

Los problemas mayores del transporte con equipo flotante son:

- Condiciones del tiempo (olas, niebla)
- Posicionamiento
- Calado

En general, debido a su calado, las barcazas pueden ser usadas únicamente para las partes del rompeolas que estén a más de 4 m de profundidad. La parte superior puede ser construida con la ayuda de grúas sobre barcazas, aunque a menudo la parte superior del rompeolas es construida con equipo rodante. Deberá ponerse especial atención a la posibilidad de usar plataformas sobre zancos y sobre las que van montadas las grúas.

b) Equipo rodante

El material es transportado sobre la corona del rompeolas por medio de camiones, yucles o tren, siempre y cuando la corona no sea sumergida. El material es vertido directamente (núcleo) o colocado por medio de una grúa (capa secundaria y coraza). Si se coloca una grúa sobre la cresta del rompeolas, su seguridad debe ser garantizada, aún durante tormentas repentinas.

Algunas veces, el núcleo y la parte inferior de la coraza se construyen primero, ya que el transporte es más fácil sobre el material relativamente fino del núcleo. Finalmente, se coloca la corona cuando la grúa es movida al final de los trabajos.

c) Combinación de equipos flotante y rodante

Para la construcción de los rompeolas y escolleras, es necesario utilizar equipos rodantes y flotantes. Generalmente el filtro y las partes bajas del núcleo son construidas con equipo flotante y la parte superior se puede usar una combinación de éstos:

Cuando el núcleo del rompeolas es sumergido, algunas veces son usados elementos prefabricados para la corona con el objeto de crear una superficie de rodamiento segura.

3.5.1 Explotación de pedreras

La pedrera es una zona donde la formación geológica está constituida por rocas densas que se extraen con explosivos o con equipos especiales para obtener materiales pétreos de los tamaños requeridos para la construcción.

Para la explotación de la pedrera se tendrá que contar con la aprobación de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), la cual se encarga de verificar que los materiales obtenidos puedan ser aprovechables en las obras. A estos materiales se les dará el tratamiento que se requiera y para el fin en que se utilicen.

La explotación de bancos se realiza con equipos con características y uso establecidos por la experiencia previa de construcción. La selección del equipo adecuado atenderá a tres factores fundamentales:

- Disponibilidad
- Tipo de material
- Distancia de acarreo.

El tamaño del equipo estará en función del volumen de la obra, del tiempo en el que vaya a ejecutarse y del espacio disponible para las maniobras. El equipo que se utilice para este fin será el apropiado para obtener, manejar, clasificar, cargar y rezagar los materiales, de acuerdo a los tamaños y graduación requeridos para la buena ejecución de las obras. Ese equipo debe someterse a consideración y aprobación de la SCT.

Para el uso de explosivos deberá contarse con la aprobación de la Secretaría de la Defensa Nacional, además de cumplir con las leyes nacionales vigentes en materia de seguridad para su transporte, almacenamiento y uso.

Mediante un estudio previo la Dependencia fija o señala la pedrera por explotar. Una vez conocida la zona rocosa a explotar, se debe presentar el programa general de trabajo, para su estudio y aprobación. En este programa el Contratista deberá presentar el trazo seleccionado para la perforación de barrenos, así como la ejecución de estos, debiendo especificar la localización, separación, longitud, diámetro, carga de dichos barrenos y tiempos de encendidos.

Para almacenar y guardar los explosivos, se construirán polvorines que cumplan con las disposiciones vigentes de seguridad. El contratista debe tomar todas las precauciones en el transporte, manejo, almacenamiento y uso de los explosivos que utilice con motivo de las obras.

Antes de atacar el frente de la pedrera deberá efectuarse un seccionamiento del mismo, dejando en el terreno las referencias y bancos de nivel necesarios, teniendo que hacerlo cuantas veces sea necesario. Solamente después de preparado el o los frentes de la pedrera, se permitirá la explotación para obtener los tamaños requeridos en las obras.

Dentro de los patios de la pedreras, se construirán las áreas necesarias para carga y los caminos de acceso de acuerdo a las especificaciones, y se deberán adoptar sistemas de explotación adecuados a las necesidades de la obra.

Si durante la explotación se encuentran zonas de fallas naturales, podrán autorizarse trabajos necesarios para salvar esta zona y para planear nuevos sistemas de ataque. En otros casos deberá cambiarse de frente.

La explotación de la formación rocosa, comprende varias operaciones: desmonte, despálme, despate, barrenación, poblado de barrenos y voladura o tronada, amacice y apalanque después de cada tronada, y manejo del material derrumbado para su clasificación y acopio, lo que incluye el retiro del desperdicio. En el despate intervienen los trabajos necesarios para derrumbar la roca por medio de voladuras, hasta formar el frente o los frentes de ataque, sensiblemente verticales. Debe cuidar que el poblado de los barrenos se efectúe de la forma más eficiente.

En el disparo de la carga de los barrenos, se tomarán las precauciones necesarias a fin de evitar daños. Después de cada voladura se hará el amacice y apalanque, o sea el retiro del material flojo y rajuelas, por medios de barretas, pala mecánica, grúa, u otras herramientas o máquinas para despejar el frente. Además, deberá examinarse el frente y los ejemplares grandes de roca suelta, para descubrir y eliminar los explosivos sin estallar.

Se habilitarán patios de suficiente superficie, en los que almacenará los ejemplares pétreos clasificándolos por su tamaño de acuerdo con las especificaciones del proyecto en el que se utilizará este enrocamiento. El desperdicio se depositará en los lugares fijados por la autoridad correspondiente.

3.5.2 Obras de protección

Las obras de protección son estructuras que sirven para proporcionar calma a un puerto, encauzar la corriente de un río y proteger un área costera de la erosión.

3.5.2.1 Materiales

Los materiales empleados en la construcción de estas obras deben ser producto de la explotación de pedreras, depósitos de roca, o de otra fuente de suministro previamente autorizado. No se permitirá el uso de ninguna clase de material térreo en cantidades mayores de 5% en peso, de los materiales pétreos. El material utilizado debe estar constituido por fragmentos de roca densa resistente a la acción del agua del mar y graduada por tamaños como se indique en el proyecto de acuerdo a las especificaciones.

A los materiales que se pretenda utilizar en la construcción de obras de protección marítima se les deberá realizar las siguientes pruebas de laboratorio de acuerdo a las especificaciones del proyecto y a las Normas Oficiales Mexicanas vigentes:

- a) examen petrográfico
- b) densidad
- c) absorción
- d) desgaste
- e) resistencia al intemperismo.

El material ya colocado en la obra que no cumpla con las especificaciones del proyecto, deberá ser retirado y sustituido.

Cuando no se disponga de roca del peso requerido para la capa secundaria y la coraza, se podrán emplear elementos precolados de concreto hidráulico, tales como bloques, tetrápodos y dolos. El material que se emplea en el elemento terminado es concreto simple o reforzado.

En la fabricación de los moldes para los bloques, tetrápodos, dolos, etc., se podrá usar madera, lámina metálica, fibra de vidrio y otros. Los moldes deberán estar debidamente dimensionados y estructurados, de tal forma que se eviten deformaciones y escurrimientos al efectuarse el colado. Después de retirar los moldes, los elementos deberán curarse, según especificaciones.

Para la fabricación de los elementos precolados, se deben acondicionar patios y mesas que se requieran en el colado. Estos elementos se fabricarán con los dispositivos necesarios que faciliten su manejo, y los moldes de los elementos ya colados no deberán retirarse sino hasta después de 24 horas de efectuado el colado, cuando menos.

Cuando no se consiga piedra del peso necesario para la construcción de los espigones, según el proyecto, los espigones se construirán de concreto, empleando piedra en el núcleo de 30 a 1000 kg, conforme al proyecto, quedando el concreto solamente como elemento de recubrimiento.

3.5.2.2 Colocación

El material pétreo ya clasificado, que se requiera para seguir la secuencia de construcción de las diferentes capas que forman el enrocamiento, deberá cargarse preferentemente, en charola o en cajas metálicas, que se transportarán en plataformas de camión o de ferrocarril. También se podrá transportar en vehículos de volteo o en chalán.

Cuando el transporte del material tenga que hacerse por carretera, se gestionará con las autoridades correspondientes la autorización para transitar por ellas, teniendo en cuenta la capacidad máxima del vehículo que podrá transitar sobre el camino por recorrer.

Para el caso de los espigones, los datos estructurales, de posición, alineación, niveles, dimensiones y separación entre espigones, serán indicados en el proyecto. Se deberá tomar las precauciones necesarias, para que no sufran alteraciones y daños las construcciones existentes en las cercanías de los nuevos espigones, con motivo de la construcción de éstos.

3.5.2.2.1 Núcleo

El núcleo se podrá realizar por vertido marino y por colocación terrestre. Se construirá con fragmentos de roca, de tamaño mínimo de acuerdo a lo indicado en el proyecto.

Cuando el nivel de la corona del núcleo coincida con el nivel cero (0.00) o esté debajo de éste será necesario el empleo de chalanes, charolas de volteo manejadas con grúas, o cualquier otro sistema similar, con el cual pueda depositarse el material pétreo, de acuerdo con las líneas y niveles establecidos.

Cuando el nivel se encuentre arriba de la elevación 0.00, el núcleo podrá construirse en parte, con camiones de volteo, pero los taludes de proyecto se afinarán colocando la piedra especificada, en el proyecto por medio de grúa equipada con charola, bote o cualquier otro aditamento similar. En este caso, deberá procurarse que el material se coloque gradualmente, variando del menor al mayor peso especificado.

Dependiendo de la violencia del oleaje, se determinará la longitud del núcleo que pueda permanecer sujeta a esta acción antes de ser protegida por la capa secundaria; por lo tanto, no deberá avanzarse en la construcción del núcleo, una longitud mayor que la indicada en el proyecto.

3.5.2.2.2 Capa secundaria

Esta capa es la encargada de proteger inmediatamente al núcleo, y estará formada por fragmentos de roca de los pesos indicados en el proyecto. La colocación de la roca para formar la capa secundaria, deberá efectuarse con la grúa adecuada y equipada con los aditamentos apropiados y autorizados, como son: estrobos, garras, almejas, redes, charolas y otros. La capa secundaria se irá protegiendo con piedra de coraza, a medida que se avance en el trabajo de acuerdo con las indicaciones del proyecto.

3.5.2.2.3 Coraza

Antes de continuar con la construcción de un nuevo tramo de núcleo y de la capa secundaria, se deberá proceder a colocar la siguiente capa que constituirá la coraza, también con el empleo de grúa adecuada, que permita acomodar la piedra de acuerdo con las líneas y niveles indicados en el proyecto, la corona deberá tener un ancho mínimo de 2.50 a 3.00 m. Se tratará de reducir en lo posible, la

cantidad de huecos entre piedra y piedra. En algunos casos será necesario el empleo de grúas montadas sobre chalanos, para poder completar la colocación de la piedra en taludes.

En caso de que la coraza sea de elementos precolados, éstos se deberán descargar de los vehículos que los transporten y colocarlos en la obra con el empleo de una grúa de capacidad suficiente y equipada con los aditamentos indicados para el manejo del elemento de que se trate.

Estos elementos solamente se podrán manejar, transportar y colocar en el sitio de la obra, cuando su resistencia alcance el 75% de la del proyecto. Su colocación deberá efectuarse de acuerdo al proyecto para que haya una buena trabazón entre ellos. El concreto deberá cumplir con las Normas de construcción y las especificaciones del proyecto.

3.6 Control de calidad

El control de la calidad y la supervisión de las obras está orientado al cumplimiento de los requisitos de calidad de cada concepto de obra.

Para el debido control de un proyecto de construcción existen tres aspectos fundamentales que son costo, tiempo y calidad (Ref. 6).

El control del costo y el tiempo se lleva a cabo mediante procedimientos sistemáticos y elaborados, los cuales pueden ser procesados por programas de cómputo, ya que éstos son útiles para llevar un control estadístico de calidad adecuado. Debido a que la revisión física de la calidad de la obra es lo primordial, ésta debe realizarse con un equipo de supervisión altamente calificado.

Después de haber especificado los requisitos de la calidad de cada concepto de obra, se diseña el procedimiento constructivo, se ejecuta el proceso que transforman los insumos en producto y se observan los resultados del proceso mediante el examen del producto obtenido. Analizando los resultados obtenidos podrá decidirse la aceptación, rechazo o corrección del concepto. En caso de corregir algún concepto, se deberá establecer las medidas correctivas apropiadas para posteriormente

corregir el procedimiento constructivo, repitiendo así nuevamente el ciclo hasta obtener la conformidad o cumplimiento de todos los requisitos

Continuamente se debe revisar la organización, los sistemas, los procedimientos y los procesos para realizar productos que cumplan los requisitos especificados, con el propósito de ejecutar los ajustes que sean necesarios para mejorar su eficacia o extensión en la que se realizan las actividades planificadas y si se alcanzan los resultados planificados y la eficiencia o relación entre el resultado alcanzado y los recursos utilizados.

Para que se realice un buen programa de control de calidad debe cumplirse con los siguientes requisitos:

1. Fundarse en aspiraciones realistas.
2. Basarse en pruebas de significación relevante desde el punto de vista técnico, para obtener indicaciones apropiadas sobre el estado real del trabajo.
3. El sistema de inspección debe centrar su atención a los aspectos fundamentales del comportamiento de la obra y no a los accesorios.
4. Que la interpretación del programa sea clara, por lo que un enfoque científico es de vital importancia.

Las pruebas deben cumplir con lo siguiente:

- Estar dirigidas a la comprobación de las características esenciales.
- Ser rápidas en su ejecución.
- Ser sencillas y rigurosamente estandarizadas.
- Ser de fácil interpretación.
- Emplear equipos de manejo simple y económicos, fáciles de calibrar o corregir.

Los resultados de las pruebas de campo y laboratorio deben ser analizados estadísticamente mediante cartas de control para cada material o concepto de obra. Los valores obtenidos deben compararse con los límites de aceptación establecidos en las especificaciones del proyecto y con los límites estadísticos para determinar si el proceso se desarrolla adecuadamente. Las cartas de control pueden ser:

- a) Gráficas de control de medias
 - Con base en el promedio de las amplitudes
 - Con base en el promedio de las desviaciones estándar
 - Con base en la media y en la desviación estándar del universo original.
- b) De control de amplitud
- c) Para el control de las desviaciones estándar

En el control y aseguramiento de la calidad, el Contratista debe controlar la calidad de todos los conceptos de obra por lo que está obligado a instalar y mantener en el campo, personal, equipo y laboratorios.

La dependencia encargada de la construcción, tomará las muestras y realizará las pruebas que estime convenientes para validar el control de calidad que realice el contratista de obra, para poder garantizar la correcta ejecución de la obra. Por tal motivo, la dependencia encargada de la construcción deberá ser la encargada de inspeccionar y vigilar permanentemente el control de calidad, y está obligada a instalar y mantener en el campo personal, equipo y laboratorio para hacer la validación aleatoria (el 10 % de las pruebas) del control de calidad llevado por el contratista.

Tanto el laboratorio del contratista como el de la dependencia encargada de realizar el proyecto, deben cumplir con los requisitos de calidad de las pruebas que se realicen, así como con ciertos requisitos relacionados con identidad legal, organización y administración, personal, equipo, materiales consumibles, informes y certificados, registros, reclamaciones y auditorías, entre otros.

En todas las etapas del proceso, el examen y el análisis permiten detectar las deficiencias y desviaciones significativas, por lo que se hace posible aplicar medidas correctivas oportunas y económicas, hasta obtener un proceso óptimo con el que se logre la conformidad con todos los requisitos establecidos, en el menor tiempo posible y al menor costo.

El examen implica las etapas de inspección, verificación y validación. La función que desempeña cada una de ellas se describe a continuación

Inspección. En esta etapa se evalúa la conformidad por medio de observación y dictamen, acompañada cuando sea apropiado por medición, ensayo/prueba o comparación con patrones que se efectúa mediante un control interno que realice el ejecutor del proceso.

Verificación. Se realiza mediante la aportación de evidencia de que se ha cumplido con los requisitos especificados. Se efectúa mediante un control externo que realice alguien ajeno al ejecutor del proceso y que dependa de la alta dirección del Contratista de Obra.

Validación. Se hace mediante el suministro de evidencia objetiva de que se han cumplido los requisitos para una utilización o aplicación específica prevista, que se efectúa mediante un control exterior que realice alguien ajeno al Contratista de Obra responsable del proceso. Esta evidencia objetiva es el conjunto de datos que respaldan la existencia o veracidad de algo, que pueden obtenerse por medio de la observación, medición, prueba u otros medios.

Las pruebas de campo y laboratorio serán las que permitan corroborar los requisitos de calidad establecidos en las especificaciones particulares, en el número y con la frecuencia, para los materiales, equipos de instalación permanente y para cada concepto de obra terminado, y serán seleccionadas estrictamente al azar mediante un procedimiento basado en tablas de números aleatorios, o cualquier otro método estadístico.

Las especificaciones de construcción que fijan y determinan los requisitos de cada concepto de trabajo son:

1. Especificaciones generales de construcción.
2. Especificaciones particulares de construcción.
3. Normas de calidad.

El jefe de control de calidad deberá elaborar informes en los que se presenten los resultados de las mediciones y pruebas ejecutadas, mediante tablas, gráficas y fotografías, incluyendo las tablas de control y los análisis estadísticos realizados. Estos informes deberán ser de tres tipos: diarios, mensuales y finales.

Los informes diarios se elaboran con el fin de saber mediante los resultados de las mediciones y pruebas ejecutadas durante el día, aquellos conceptos que no cumplan con las especificaciones del proyecto y así poder corregirlos oportunamente .

Los informes mensuales se presentarán al final de cada mes y deben contener como mínimo la descripción de los trabajos de control de calidad ejecutados en ese período, las pruebas realizadas y las cartas de control de las mediciones.

El informe final se elaborará al cierre de la obra y debe contener como mínimo los objetivos, alcances y descripción de los trabajos que se realizaron para llevar a cabo el control de calidad. También deberá incluir el dictamen que certifique que la obra se ejecutó de acuerdo con las características de los materiales, equipo y tolerancias especificadas en el proyecto.

Las dependencias y entidades al elaborar las especificaciones técnicas de construcción, generales o particulares, están obligadas a utilizar las normas de calidad que se aprueban conforme a la Ley Federal de Metrología y Normalización en cualquiera de sus modalidades: Normas Oficiales Mexicanas, Normas Mexicanas, Normas Internacionales o Normas de Referencia.

3.6.1 Control de calidad de los bancos de material

En los bancos de material de donde se extrae la roca para la construcción de obras de protección marítima, es necesario utilizar explosivos, por lo que debe contarse con los permisos correspondientes para su transporte, manejo, almacenamiento y utilización, conforme a los requerimientos de la Secretaría de la Defensa Nacional.

a) Transporte de explosivos

1. Cualquier vehículo que esté transportando explosivos deberá estar marcado o pintado o tener un letrero en la parte delantera, a ambos lados y en la parte trasera con la palabra "explosivos" en letras de no menos de 4 pulgadas de altura en colores que hagan contraste, con los de fondo; o bien llevar en un lugar visible una bandera roja de no menos de 24" por lado con la palabra "explosivos" en letras rojas de cuando menos 3" de altura o la palabra "peligro" en letras de 6" de altura.
2. Los vehículos no deberán llevar cápsulas detonadoras fulminantes cuando estén transportando otros explosivos, ni metales, herramientas metálicas, aceite, cerillos, armas de fuego, ácidos, sustancias inflamables, o materiales semejantes.
3. Los vehículos que transportan explosivos no deberán estar sobrecargados y en ningún caso se apilarán las cajas o latas de explosivos a una altura mayor que la de la carrocería. Cualquier vehículo de caja abierta deberá llevar una lona para cubrir las cajas o latas de explosivos.
4. Todos los vehículos, cuando estén transportando explosivos deberán inspeccionarse para determinar si el vehículo se encuentra en condiciones adecuadas para el transporte de explosivos.
5. El piso de los vehículos deberá estar perfectamente empalmado y ajustado. Cualquier pieza metálica que esté expuesta en el interior del vehículo y que pueda entrar en contacto con algún paquete de explosivos deberá ser cubierta o protegida con madera o algún material no metálico.

6. Los explosivos no deben de trasportarse en remolques. Así mismo, a los vehículos que transporten explosivos no deberá enganchárseles ningún tipo de remolque.
7. Los vehículos que transportan explosivos no deben llevar pasajeros ni personas no autorizadas para viajar en ellos. No debe permitirse fumar ni llevar cerillos.
8. Los paquetes o ajas de explosivos no deben aventarse o dejarlos caer al estarlos cargando, descargando o acarreado, sino que deben depositarse cuidadosamente y almacenarse o colocarse de tal manera que no se deslicen, caigan o muevan.
9. Los motores de los vehículos que transportan explosivos deberán estar parados antes de cargar o descargar los explosivos.

b) Manejo de explosivos

1. Las cajas que contengan explosivos deberán levantarse y bajarse cuidadosamente sin deslizarlos unos sobre otros, tampoco dejarlos caer de un nivel al siguiente, ni manejarse bruscamente.
2. Las cajas o paquetes de explosivos no deben abrirse dentro de un almacén de explosivos o arsenal, ni siquiera dentro de un radio de 50 pies de distancia del almacén.
3. Deben emplearse herramientas fabricadas con madera o con algún otro material no metálico para abrir las cajas o barriles o cualquier otra vasija en que se encuentre contenido un explosivo. Nunca deben emplearse herramientas metálicas.
4. Los explosivos y detonantes que se les den a los obreros deberán colocarse en receptáculos aislados independientes, equipados con tapas construidas y sujetas de tal manera que no se puedan abrir accidentalmente durante el transporte.

5. No deberá permitirse a ninguna persona, excepto al operario, viajar con los explosivos o detonantes cuando estén siendo transportados en un tiro, túnel, o cualquier otra obra subterránea.

c) Almacenamiento de explosivos

1. Los explosivos y detonantes deben depositarse separadamente en almacenes independientes, secos, ventilados, a prueba de balas y resistentes al fuego, alejados de otros edificios, vías de ferrocarril, y carreteras. La Tabla Americana de Distancias proporciona estas distancias de separación dependiendo del tipo y cantidad de explosivo que se almacenaran en el lugar.
2. La bodega para el almacenamiento de explosivos debe estar construida de tal manera que se evite el congelamiento del explosivo durante largos periodos de tiempo en climas fríos. Si el explosivo se congela, deberá descongelarse antes de utilizarlo, ya que el peligro de que explote prematuramente es mucho mayor cuando está congelada.

d) Utilización del explosivo

1. Para la utilización del explosivo, se deberá transportar del polvorín donde se almacena al sitio de utilización únicamente los explosivos y detonadores que se vayan a utilizar, éstos se deberán transportar en vehículos diferentes y se depositarán separadamente en el sitio de utilización.
2. A la hora de utilizarse, los explosivos deberán manejarse con todos los cuidados necesarios que garanticen la seguridad del personal y la integridad de la obra.

El material que vaya a ser extraído de los bancos de material deberá cumplir con todas las especificaciones del proyecto y las Normas Oficiales Mexicanas vigentes, así como también todo lo referente a la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

Para llevar a cabo un buen control de la explotación de bancos de material se debe ver el impacto ambiental que puede ocasionar al medio ambiente, con el fin de minimizar los daños, por lo que se deberá realizar un diseño adecuado para lograr un proyecto lo más armónico posible con el ambiente. También debe estar en concordancia con los Estudios de Ordenamiento Ambiental y los Planes de Desarrollo Estatales y municipales, así como lo referente a vegetación , sobre todo si existen especies en peligro de extinción.

En general se recomienda promover el rescate de la vegetación a través de un programa que incluya el retiro de especies, preservación durante su traslado, resiembra, supervisión y seguimiento de estas acciones para determinar su éxito.

Para minimizar los daños a las zonas de bancos se recomienda que el volumen extraído sea igual al que se va a utilizar.

3.6.2 Control de calidad de las obras de protección

Para llevar a cabo el control de calidad de este tipo de obras, la roca extraída del banco de material tendrá que haber cumplido ya con las Normas que lo Reglamentan. El traslado del material deberá cumplir con los reglamentos que especifica la Secretaría de Comunicaciones y Transportes ya que el tamaño de la roca es demasiado grande lo que puede afectar considerablemente las carreteras por las que vaya a ser transportado el material, por lo que tendrá que ver la ruta adecuada para su transportación. También debe cumplir con la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

En el caso de que se empleen elementos de concreto para la construcción de la coraza, estos deberán cumplir con todas las Normas de proyecto y las Normas Mexicanas vigentes, entre las que se destacan las siguientes:

NMX – C - 414 – ONNCCE Industria de la Construcción - Cementos hidráulicos – Especificaciones y métodos de prueba.

NOM – C- 111 – 1988 Industria de la Construcción – Concreto – Agregados – Especificaciones

Esta Norma Oficial mexicana establece las especificaciones que deben cumplir los agregados naturales fino y grueso para usarse en la fabricación de concreto hidráulico, exceptuando los agregados ligeros.

NMX-C-122-1982 Industria de la Construcción - agua para concreto.

Esta Norma Mexicana establece los requisitos para las aguas naturales o contaminadas, diferentes de las potables que se pretendan emplear en la elaboración o curado del concreto hidráulico. También da a conocer la acción agresiva de los diferentes tipos de agua que se enumeran en el inciso 4.

3.7 Supervisión

La supervisión de obra tiene por objeto llevar a cabo una inspección y vigilancia permanente de la obra para verificar que ésta se ejecute de acuerdo con el proyecto y sus especificaciones de construcción y coadyuvar al control administrativo de la obra.

Para llevar a cabo la supervisión de la obra se requiere contar, como mínimo, con lo siguiente:

- El proyecto completo de la obra.
- Cuando la supervisión se ejecute por contrato:
 - Los Términos de Referencia a que se deben sujetar los trabajos de supervisión.
 - Los programas de utilización de personal y de control de calidad, así como el presupuesto de supervisión desglosado, en su caso, por montos mensuales.
 - El Residente de obra podrá instalar la supervisión con posterioridad al inicio de la obra.

La supervisión es el auxilio técnico de la residencia de obra. Los trabajos que forman parte de la supervisión son la revisión del proyecto, la supervisión de obra y el cierre de la obra.

Si la supervisión se ejecuta por contrato, toda la documentación que elabore el Contratista de Supervisión, será presentada en su papel membretado y debidamente firmada por él o por su representante en la obra.

3.7.1 Revisión del proyecto

Cuando la supervisión esté a cargo de un Contratista de Supervisión, la SCT le entregará de preferencia antes del inicio de la obra:

- El proyecto completo.
- El contrato de obra firmado por el Contratista de Obra, con todos sus anexos.
- El trazo físico de la obra.

Previamente al inicio de los trabajos de supervisión de obra, el Contratista de Supervisión revisará detalladamente toda la información que le sea entregada, con el objeto de enterarse de las condiciones del sitio de la obra, así como de las diversas partes y características del proyecto. Asimismo, será responsable de la detección oportuna de errores, omisiones o inconsistencias en el proyecto, elaborará un dictamen en el que incluya las observaciones que considere necesarias con su propuesta de corrección, adecuación o complementación y lo entregará al Residente en la fecha establecida en el contrato.

3.7.2 Supervisión de obra

Para la ejecución de la supervisión de obra, se atenderán los siguientes aspectos (Ref. 7).

- Las funciones de la Supervisión de obra, se sujetarán en todas sus fases a los Términos de Referencia, anexos al contrato de supervisión.
- El Contratista de Supervisión mantendrá permanentemente en cada frente de la obra a un Supervisor y a un Inspector, ambos deben ser profesionales cuyos títulos estén registrados ante la Autoridad Federal competente, también deben contar con suficiente experiencia.

- Para validar el control de calidad que realice el Contratista de Obra, el Contratista de Supervisión está obligado a instalar, equipar y mantener en el campo, bajo su responsabilidad y costo, los laboratorios, personal técnico y profesional que se requiera.
- Cuando la supervisión se ejecute por contrato, el Contratista de Supervisión atenderá las solicitudes del Residente y pondrá a disposición de la obra, el personal y equipo adicional que se requiera para corregir deficiencias o insuficiencias en la prestación de los servicios.
- Con base en el contrato de obra y considerando los datos de proyecto, el Contratista de Supervisión establecerá los controles necesarios que permitan, en forma rápida y confiable, conocer el grado de avance físico y financiero.
- El Residente dará apertura y mantendrá actualizada la Bitácora de Obra y entregará copias a las personas autorizadas para hacer las anotaciones, conservando el original en el libro de bitácora hasta el cierre de la obra.
- Cuando la supervisión esté a cargo de un Contratista de Supervisión, el Residente dará apertura, resguardará en su oficina en la obra y mantendrá actualizada la Bitácora de Supervisión, en la que se anotarán las instrucciones del Residente al Contratista de Supervisión, los planteamientos y solicitudes del mismo, así como los incidentes más relevantes.
- El Residente o, cuando la supervisión se ejecute por contrato, el Contratista de Supervisión, organizará, conservará y mantendrá permanentemente actualizado el archivo maestro hasta la conclusión de los trabajos.
- El Contratista de Supervisión, organizará y convocará a nombre de la Dependencia, la celebración de las juntas de obra que se realicen bajo calendario fijo, con una periodicidad no mayor de 1 semana, así como de las juntas extraordinarias.

- El Residente o, en su caso, el Contratista de Supervisión convocará a la primera junta de obra para que se celebre, a más tardar en la fecha pactada para el inicio de la obra y a la que concurrirán en Residente, el Superintendente del Contratista de Obra y el Supervisor.
- El Contratista de Supervisión, entregará y mostrará físicamente al Contratista de Obra, una sola vez, los trazos de los diferentes elementos de la obra y le dará posesión del derecho de vía correspondiente.
- El Contratista de Supervisión, recibirá del Contratista de Obra el programa de ejecución, detallado por concepto y ubicación en la obra. Verificará que dicho programa sea factible y aceptable, desde el punto de vista de su realización física.
- El Supervisor registrará diariamente en la Bitácora de Obra, los avances y aspectos relevantes de la obra, asimismo elaborará y mantendrá actualizadas las gráficas correspondientes a los avances físicos y financieros, comparando en ella lo real con lo programado.
- El Contratista de Supervisión, verificará permanentemente que el contratista de obra mantenga en la obra al personal capacitado y en número suficiente, además registrará diariamente los cambios que se produzcan en las instalaciones, el equipo de construcción y transporte.
- Cuando el proyecto de la obra no incluya los proyectos de las desviaciones que se requieran para la ejecución de la misma, previamente a la iniciación de los trabajos, el Contratista de Supervisión, recibirá del Contratista de Obra los proyectos de dichas desviaciones, y revisará que sean técnicamente factibles y aceptables. En caso de que sea necesario, solicitará al Contratista de Obra las modificaciones necesarias y no se le autorizará la iniciación de la obra, hasta que hayan construido las desviaciones necesarias, y colocado las señales y dispositivos de seguridad, en la forma y condiciones indicadas.
- Cuando la Secretaria deba aprobar algún procedimiento constructivo, el Contratista de Supervisión, recibirá del Contratista de Obra la propuesta y verificará que sea técnicamente

factible, que no ponga en riesgo la obra, al personal, a propiedad ajena, a terceros, o que no deteriore las condiciones naturales del medio ambiente.

- Si durante la ejecución de la obra, el Contratista de Supervisión considera peligroso cualquier procedimiento constructivo, inmediatamente notificará al Residente para que éste ordene la suspensión o modificación del procedimiento constructivo y la estabilización de la zona dañada.
- El Contratista de Supervisión, vigilará que los materiales sobrantes de los cortes, túneles, excavaciones para estructuras, canales, demoliciones y desmantelamientos, que se consideren aprovechables, sean depositados correctamente en los sitios para almacenes temporales.
- El Contratista de Supervisión, recibirá las propuestas que eventualmente pudiera hacerle el Contratista de Obra para explotar o utilizar otros bancos de materiales, sitios para el depósito de desperdicios o para almacenes temporales, y verificará que la utilización de bancos o sitios propuestos tenga menor o igual impacto ambiental que los anteriores.
- Al término de cada concepto de obra, el Contratista de Supervisión hará el levantamiento topográfico de los trabajos realizados y lo cotejará con el proyecto para verificar que las líneas y niveles establecidos hayan sido respetados.
- El Contratista de Supervisión seccionará los bancos de materiales y los sitios para el depósito de desperdicios o para almacenes temporales, antes de que se inicie la explotación, para determinar el volumen real del material extraído.
- Antes de iniciar cada nuevo concepto, el Contratista de Supervisión verificará que el Contratista de Obra disponga en el lugar de la obra, del personal capacitado, del equipo y de las instalaciones necesarias que le permitan llevar a cabo el control de la calidad de los trabajos, de conformidad con el proyecto y con el contrato de obra, registrando los cambios que reproduzcan y tendrá que comunicarle al Residente de dichos cambios.

- El Contratista de Supervisión recibirá junto con las estimaciones, revisará y validará los resultados de las pruebas, las cartas de control, los análisis estadísticos y los informes del control de calidad ejecutados por el Contratista de Obra, de todos los materiales, equipos de instalación permanente, conceptos de obra y acabados, comprobando que éstos se hayan realizado de acuerdo con las especificaciones particulares y realizará el 10% del número de pruebas establecidas.
- El Contratista de Supervisión analizará, por cada frente y concepto de obra, los resultados del control de calidad efectuado por el Contratista de Obra y los de las comprobaciones, así como los de la verificación de las líneas y niveles, interpretándolos estadísticamente mediante cartas de control u otro procedimiento estadístico aprobado por la Secretaría, las cuales se actualizarán diariamente, con el propósito de que puedan ser corregidas, oportunamente, las desviaciones en la calidad de la obra; dichos resultados serán conservados en el archivo maestro.
- El Contratista de Obra vigilará que los procedimientos constructivos que se adopten, no dañen el entorno ecológico más allá de lo estrictamente necesario y le exigirá al Contratista de Obra la restauración de estos daño, antes de dar por terminada la obra.
- Para dar por terminado un concepto de obra y aceptar las cantidades correspondientes a la última medición, verificará que se hayan realizado todas las labores de mitigación y restauración ecológica previstas en el proyecto y sus especificaciones de construcción. Asimismo, para dar por terminada la obra, verificará que el Contratista de Obra, además de las medidas de mitigación al impacto ambiental debe dejar limpio el sitio.
- El Contratista de Supervisión vigilará que el Contratista de Obra implemente los sistemas de higiene y de seguridad conforme a lo señalado en el proyecto; que proporcione a su personal el equipo adecuado para su protección e instale en los frentes de trabajo el señalamiento y dispositivos de seguridad que se requieran.

- El Supervisor vigilará que las obras temporales hayan sido adecuadamente diseñadas y correctamente construidas.

- Una vez verificadas la topografía y el control de calidad, el Contratista de Supervisión medirá y calculará las cantidades de obra ejecutadas correctamente y las conciliará con el Contratista de Obra, cuidando de no incluir aquellas cantidades que se hayan ejecutado incorrectamente.

REFERENCIAS

1. Mcdonel Martínez Guillermo, Curso de Ingeniería de Costas, División de Educación Continua de la Facultad de Ingeniería, UNAM, México, 1989.
2. Frias Valdez A. y Moreno Cervantes G., Ingeniería de Costas, Limusa, México, 1988.
3. Bustamante Ahumada R., Ingeniería Marítima, Temas Marítimos, México, 1976.
4. Iribarren C. R., Obras Marítimas, Dossat, Madrid, 1990.
5. Macdonel G.; Pindter J. y otros, Ingeniería Marítima y Portuaria, México, Alfaomega, 1999.
6. Elizondo M. R., Apuntes de Control de Calidad y Diseño de Especificaciones, UNAM, 2003.
7. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Ejecución de Supervisión de Obras "N.LEG.4/02".

CAPÍTULO IV

4 ALGUNOS ASPECTOS ECONÓMICOS

En este capítulo se tratan algunos aspectos económicos de una manera general, los cuales afectan directamente y de una forma considerable la construcción de obras de protección marítima.

4.1 Costos

Se define como costo de una unidad a todos los costos parciales de cada uno de los elementos que intervienen en la realización de la obra, es decir, la suma de costos de los materiales, mano de obra, maquinaria y equipo y algunos otros costos derivados de partidas no involucradas, pero que incurren en el costo final. (Ref. 1).

La importancia del análisis de costo final en la planeación de obra y el soporte técnico del mismo, en base a las especificaciones del proyecto y a las condiciones del mercado de los insumos, son básicos en el control del tiempo y costo de la obra.

En la actualidad, en nuestro país existe la Ley de Obras Públicas y servicios relacionados con la misma, en la cual se especifica que los contratos deben formularse en base a precios unitarios, este tipo de

contratos se basa en la unidad de obra, por unidad de medición y pago, e incluye el costo directo, el costo indirecto y la utilidad.

La medición y base de pago se hará de acuerdo a los conceptos que intervengan en la obra, para el cálculo de los volúmenes de obra, el análisis de precios unitarios y el catálogo de conceptos.

a) Costo directo

El costo directo comprende el importe de los materiales, mano de obra, equipos, costos básicos y costos finales(Ref. 2).

Para el cargo de maquinaria y equipo en un costo de una unidad de obra, se fija el costo horario de la máquina en función de su vida económica y esta depende de la maquinaria en sí y de varios factores que influyen en ella como el operador, el lugar de trabajo y el mantenimiento.

Los factores que influyen en el costo horario son:

- Valor de adquisición de la máquina
- Condiciones de trabajo
- Número de horas empleadas por año
- Número de años en uso
- Mantenimiento y reparación
- Mercado del equipo que fija el valor de rescate.

Los conceptos que intervienen dentro de costo directo de una maquinaria son los cargos fijos, en los que intervienen depreciación, inversión seguro, almacenamiento y reparación, y los cargos variables que incluyen combustibles, lubricantes, llantas gastos de operación.

b) Costo indirecto

Los costos indirectos se dividen en dos grupos, el gasto indirecto de operación y el gasto indirecto de obra; es decir, son aquellos gastos que se requieren, pero que no generan obra.

Los gastos indirectos de operación son incluye gastos técnicos y/o administrativos, alquileres y depreciaciones, obligaciones y seguros, materiales de consumo y capacitación y promoción.

Los gastos indirectos de obra están compuestos por gastos técnicos y/o administrativos, traslado de personal de obra, comunicaciones y fletes, construcciones provisionales y fianzas y seguros.

c) Utilidad

La utilidad es la ganancia que recibe la constructora como contratista por la ejecución de los conceptos de trabajo que realiza. El porcentaje que se obtenga de utilidad debe ser justo y equitativo, y está en función de tres variable:

1. El costo del dinero (determinado por la tasa de interés)
2. El riesgo de la inversión (determinado por la oferta y la demanda)
3. La tecnología que propiedad de la empresa (valor del estudio y la investigación)

Todos estos factores que se mencionaron son los más representativos para la construcción de cualquier tipo de obra.

4.2 Medición y base de pago de los conceptos de obra, para la construcción de obras de protección marítima

Para la construcción de obras de protección marítima se consideran dos partidas principales: la explotación de pedreras y las obras de protección, descritas en el Capítulo III de este trabajo.

4.2.1 Explotación de pedreras

De acuerdo a la descripción realizada en el Capítulo III, inciso 3.5.1, este inciso se complementa con el antes mencionado:

a) Conceptos

Los conceptos que más influyen en la explotación de pedreras son:

- Desmontes de bancos para la obtención de la piedra
- Despalmes
- Explotación del material

Entendiéndose por desmonte, la tala, desenraice y limpieza del terreno; por despalme se entiende el corte, extracción, remoción, carga y descarga en el sitio, del material producto del despalme, y la explotación del material es la obtención de la roca mediante explosivos.

b) Medición

Los conceptos de obra de las pedreras se medirán tomando como unidad el metro cúbico o la tonelada, según sea el caso. Metro cúbico para los materiales pétreos que no excedan de quince centímetros, como tamaño máximo. Si los materiales pétreos son de tamaño mayor a quince centímetros, será la tonelada. En este caso se medirá por peso no por volumen. El resultado se redondeará a la unidad (Ref. 3).

Para los volúmenes productos del despalme se considerarán los que indique el proyecto, haciendo las modificaciones por cambios autorizados.

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

Los vehículos en los que se transportan los materiales producto de la explotación de la pedrera y que sirvan para su medición por volumen o peso, deben ser aprobados. Las básculas deben ser revisadas periódicamente para su verificación, ajuste y compostura, en su caso.

c) Base de pago

Para la base de pago, el desmonte se pagará de acuerdo a los precios unitarios que en el contrato se hayan pactado. El despalle de áreas en pedreras; de bancos para obtención de materiales para construcción de obras marítimas; para desplantes de terraplenes y rellenos en las obras marítimas, se pagará por metro cúbico a los precios fijados en el contrato. Este precio unitario incluye lo que corresponda por: extracción, remoción, acarreo libre y depósito del material de desperdicio en los sitios fijados (Ref. 3).

Los materiales pétreos producto de la explotación de la pedrera, se pagarán al precio unitario fijado en el contrato, para el metro cúbico o para la tonelada, según el tamaño del material. En estos precios unitarios se incluye lo que corresponda por: extracción, remoción, carga y descarga del material para la formación de la obra que se trate a cualquier altura.

Cuando el material y el equipo sea proporcionado, el cargo correspondiente se descontará de las estimaciones o de la liquidación final, cuando al estudiar los precios unitarios no se haya tomado en cuenta dicha circunstancia

4.2.2 Obras de protección

Este inciso se complementa con la descripción realizada en el Capítulo III, inciso 3.5.2.

a) Conceptos

Para este tipo de obras se tienen los siguientes conceptos:

- Suministro y colocación de piedra natural para la construcción de obras de protección marítima.
- Acarreo de material pétreo para formación de las diferentes capas de la estructura, en kilómetros subsecuentes al primero.

En caso de que el proyecto requiera que la construcción de la coraza se construya con elementos precolados, aparte de los antes mencionados, se manejarán los siguientes conceptos:

- Colado de concreto simple
- Elaboración y colado del concreto de los elementos
- Acarreo y colocación de los elementos, del patio de colados al sitio definitivo.

b) Medición

La piedra para la construcción de este tipo de obras, se medirá por peso, de acuerdo con lo estipulado en el contrato y tomando como unidad la tonelada, para lo cual deberá instalarse en el lugar de la obra, una báscula que deberá ser verificada debidamente y tendrá que ser revisada periódicamente para su mantenimiento y reparación, en su caso. Los acarreos se medirán para lo tonelada-kilómetro de piedra (Ref. 3).

Los vehículos en los que se transporte y pese a la piedra, serán aprobados y tarados previamente. Los elementos precolados que se empleen en rompeolas y escolleras, se cuantificarán en una de las formas siguientes:

- a) Por volumen, tomando como unidad el metro cúbico de concreto
- b) Por pieza, de acuerdo al tipo y clase que indique el proyecto

c) Base de pago

Para la base de pago, la piedra empleada en la construcción de rompeolas y escolleras, se pagará a los precios unitarios fijados en el contrato, para la tonelada de piedra colocada en la obra, según la clase de que se trate (Ref. 3).

El precio unitario del suministro y colocación de piedra natural para el núcleo, capa secundaria, coraza y morro de rompeolas o escolleras deberá incluir las erogaciones que se tengan que efectuar como: explotación, selección acopio, carga, acarreo en el primer kilómetro, desperdicios, regalías y descarga en la posición definitiva que marque el proyecto.

El acarreo por kilómetro subsecuente excedente al primer kilómetro, de piedra natural para formación de núcleo; capa secundaria; coraza y morro de rompeolas y escolleras, se pagará de acuerdo a lo que fije el contrato para la tonelada-kilómetro.

Los rompeolas y escolleras constituidos por elementos precolados se pagarán a los precios unitarios fijados en el contrato.

El concreto simple empleado en la fabricación de bloques, tetrápodos, etc. Se pagará a los precios fijados en el contrato para el metro cúbico. Este precio incluye: materiales; elaboración de concreto y curado; fabricación y uso de moldes y su manejo dentro del patio de colados.

La elaboración y colado de concreto hidráulico en losas para formación de patios o mesas de colados, se pagará al precio fijado en el contrato para el metro cúbico, este precio incluye: materiales, fabricación y uso de moldes, y juntas de construcción.

El acarreo y colocación de elementos concreto, del patio de colados al sitio definitivo, se pagará a los precios fijados en el contrato para la pieza, incluyéndose en éstos, todas las maniobras de carga y descarga, y su colocación en la obra.

4.3 Relación beneficio – costo

El diseño óptimo de una obra de protección marítima, dependerá del dimensionamiento de la estructura de manera que el criterio escogido tenga un valor extremo. El criterio usado puede ser la minimización de los costos de mantenimiento, o la maximización de la relación beneficio-costos.

Siempre deben aceptarse algunos daños o riesgos, el problema consiste en determinar el balance económico entre el costo de construcción y el costo de daños (operación) de tal manera que el costo total de los dos sea el mínimo.

a) Parámetros y sus interrelaciones

Los parámetros que intervienen en el diseño de un rompeolas para llegar a un diseño óptimo pueden encontrarse examinando los orígenes del costo de daños indirectos.

- Daños directos: están asociados con el rompeolas mismo, incluyen todos los costos de mantenimiento y reparación de la estructura.
- Daños indirectos: estos ocurren en el área protegida por el rompeolas y resultan de la falla de éste en alguna manera. Esta falla puede ser diferente de la que resulta en los costos de daños directos, por ejemplo: cuando se presenta una tormenta, la ola que sobrepasa puede ocasionar una oscilación en el interior del puerto no apta para la navegación aunque el rompeolas no haya sufrido ningún daño estructural.

Resumiendo, los daños directos incluyen las reparaciones del rompeolas, mientras que los indirectos incluyen las operaciones que normalmente son llevadas a cabo en los puertos.

En concreto, el problema de la optimización, del rompeolas puede esquematizarse encontrando el costo total mínimo del proyecto como una función de las siguientes variables:

- Localización del rompeolas
- Elevación de la cresta
- Tipo de rompeolas
- Detalles de construcción, tales como los elementos de la coraza
- Estado de agitación del mar.

b) Procedimientos de optimización

Un proyecto debe tener varias alternativas, en las cuales debe ser posible evaluar el costo económico de construcción, además de la probabilidad de daños o fallas de cada alternativa, determinando las pérdidas resultantes de dichos daños o fallas de la obra.

El procedimiento de optimización se lleva a cabo de la siguiente manera:

- Se escoge un diseño entre las alternativas disponibles
- Para este diseño se determina el costo de construcción
- Se determina en base al riesgo o probabilidad de daños su valor, este costo de daños será el que tenga durante el tiempo de vida de la obra
- Se puede repetir para cada una de las alternativas que se tenga

Llevados a cabo todos los pasos, se puede escoger el proyecto que tenga el costo total más bajo (suma de los costos de construcción más el costo de daños), será el diseño óptimo.

REFERENCIAS

1. Sánchez Coronel Jorge A., Tesis de Construcción de terraplenes sobre suelos blandos en el Estado de Sinaloa, UNAM, 2003.
2. Suárez Salazar Carlos, Metodología en el Desarrollo de Concursos de Obra Pública Federal 2002, Limusa, México.
3. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Normas para Construcción e Instalaciones "Costas y Puertos", SCT, 1984.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Las obras de protección marítima como los rompeolas, espigones y escolleras, son necesarias para resguardar un área costera de la acción erosiva de las corrientes litorales, proporcionar calma a un puerto y evitar el azolvamiento en las desembocaduras de ríos.
2. La construcción de este tipo de obras debe fundamentarse en estudios y proyectos satisfactorios y confiables, acorde a las necesidades de seguridad, eficiencia y economía, establecidos en la Normatividad aplicable.
3. Estas estructuras se ven afectadas principalmente por los vientos, mareas, corrientes, oleaje y transporte de sedimentos; por tal motivo, es necesario que se cuente con la información suficiente y de fuentes confiables de todos estos factores que intervienen en el diseño de la estructura, para su correcta elaboración, ya que el costo de este tipo de obras es bastante elevado.
4. Existe poco cuidado en la construcción y mantenimiento de estas obras, lo que provoca que en muchas ocasiones las estructuras tengan fallas, y esto a su vez hace que su vida útil sea menor y las reparaciones mayores.

5. El tipo de material que se va a utilizar para la construcción del núcleo y la capa secundaria de la estructura será roca del banco de material explotado. La coraza dependerá del costo y disponibilidad de los materiales de construcción existentes en la zona donde se efectuará la obra, por lo que podrá ser de roca o de elementos de concreto según convenga, para hacer factible económicamente el proyecto. Todo material debe cumplir con normatividad de construcción y con las especificaciones del proyecto.
6. La roca que se utilice en los rompeolas debe ser resistente al ataque del agua de mar, de alto peso específico, resistente a la abrasión, y con adecuada resistencia a la compresión, debido a que la roca es el material que constituye la mayor parte o totalidad de los rompeolas a talud, es de vital importancia la identificación de canteras con roca de la calidad adecuada y en cantidad suficiente. Un aspecto sobre el que se debe poner atención especial, es el transporte de la roca desde la cantera hasta el sitio de la obra, el cual debe poder realizarse en forma económica.
7. Es obligatorio contar con los permisos necesarios en materia ambiental para la construcción de este tipo de obras, por lo que debe realizarse una manifestación de impacto ambiental ante la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), con la finalidad de saber en que porcentaje afectará la construcción de la obra al medio ambiente y adoptar las medidas adecuadas para mitigar los daños.
8. En grandes obras, es recomendable estudiar el diseño de la estructura mediante un modelo hidráulico, ya que proporciona resultados más confiables.
9. En el Estado de Sinaloa no se cuenta con la experiencia suficiente para que los estudios, proyecto y proceso constructivo de las obras de protección marítima se realicen correctamente; tampoco existe una guía en la cual fundamentarse para la realización de esas actividades, ni la supervisión de personal capacitado, lo cual hace crítica la problemática expuesta en esta tesis.
10. Una de las principales aportaciones de esta tesis, es la formulación de una guía general para el proyecto y proceso constructivo que se requieren en las obras de protección marítima, por lo

que podrá ser de utilidad para las dependencias, organismos y profesionistas involucrados en este tipo de obras de protección marítima.

FIGURAS

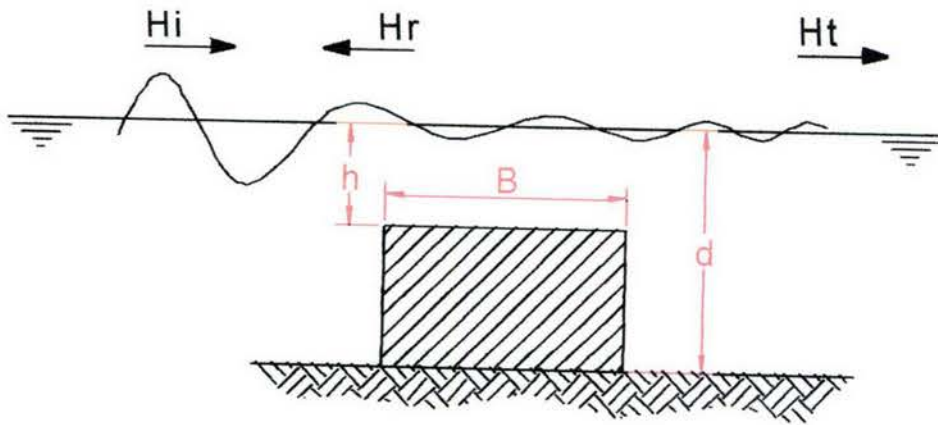


Fig. 1 Rompeolas sumergido

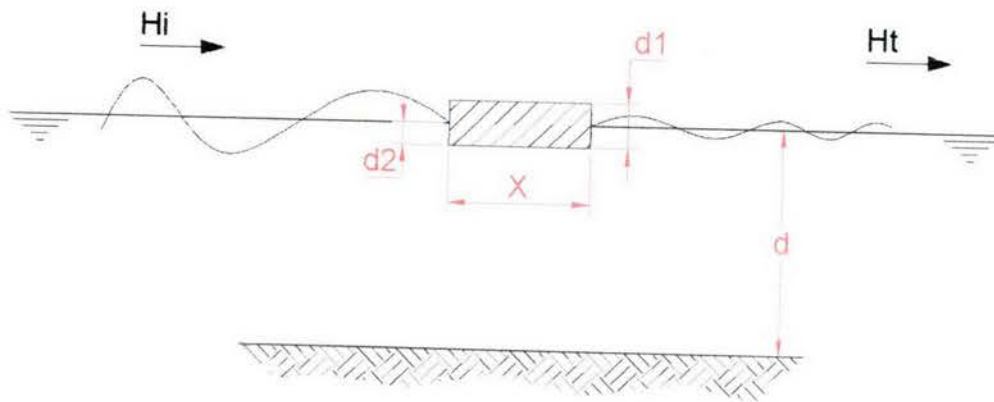


Fig. 2 Rompeolas flotante

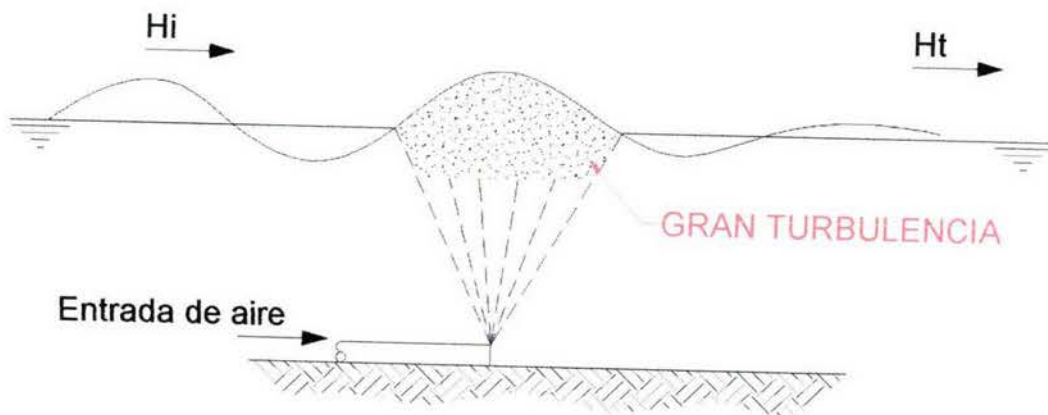


Fig. 3 Rompeolas neumático

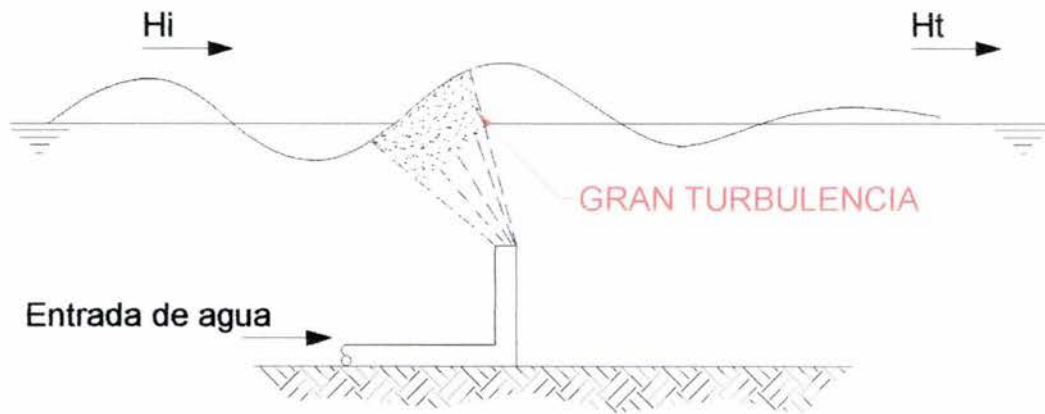


Fig. 4 Rompeolas hidráulico

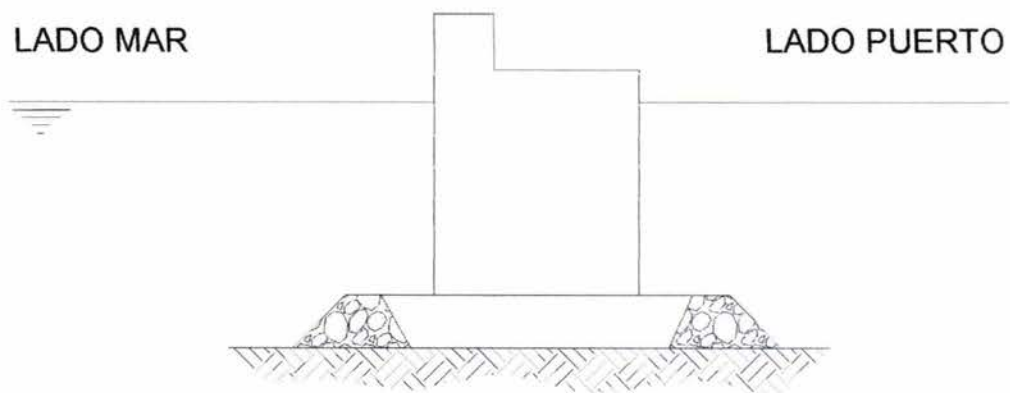


Fig. 5 Rompeolas de paramento vertical

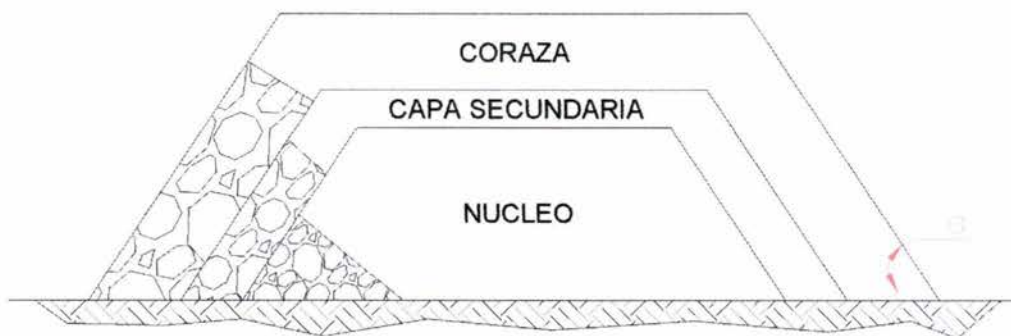


Fig. 6 Rompeolas a talud

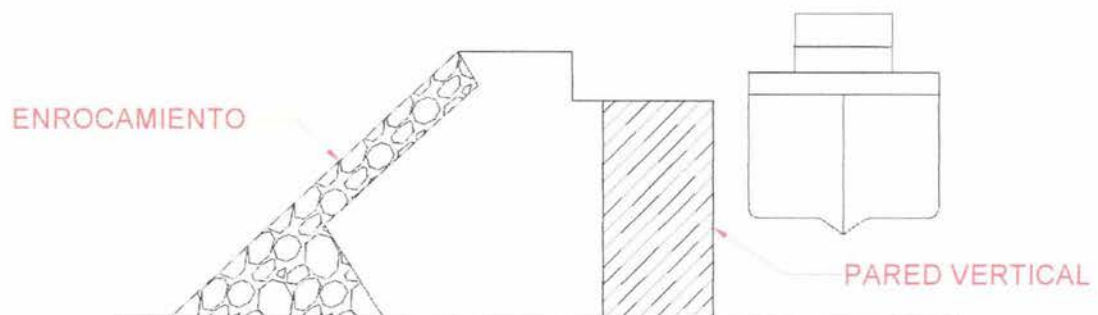
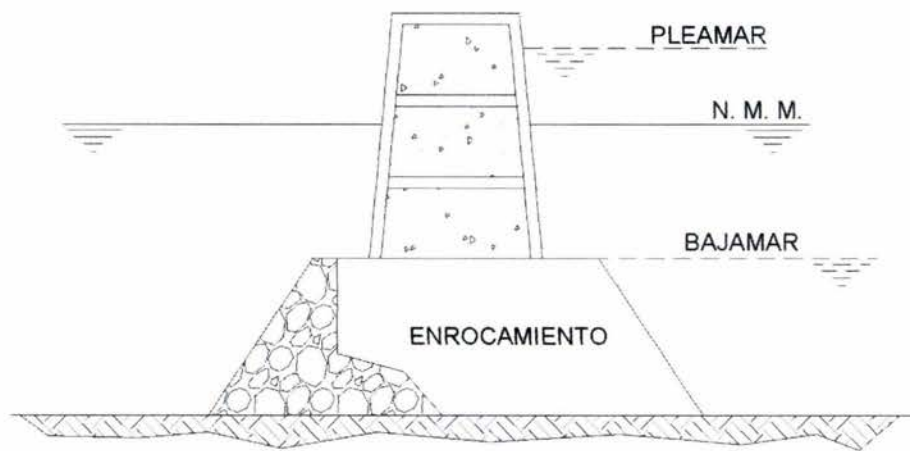


Fig. 7 Rompeolas mixto



Fig. 8 Vista panorámica del rompeolas de Mazatlán

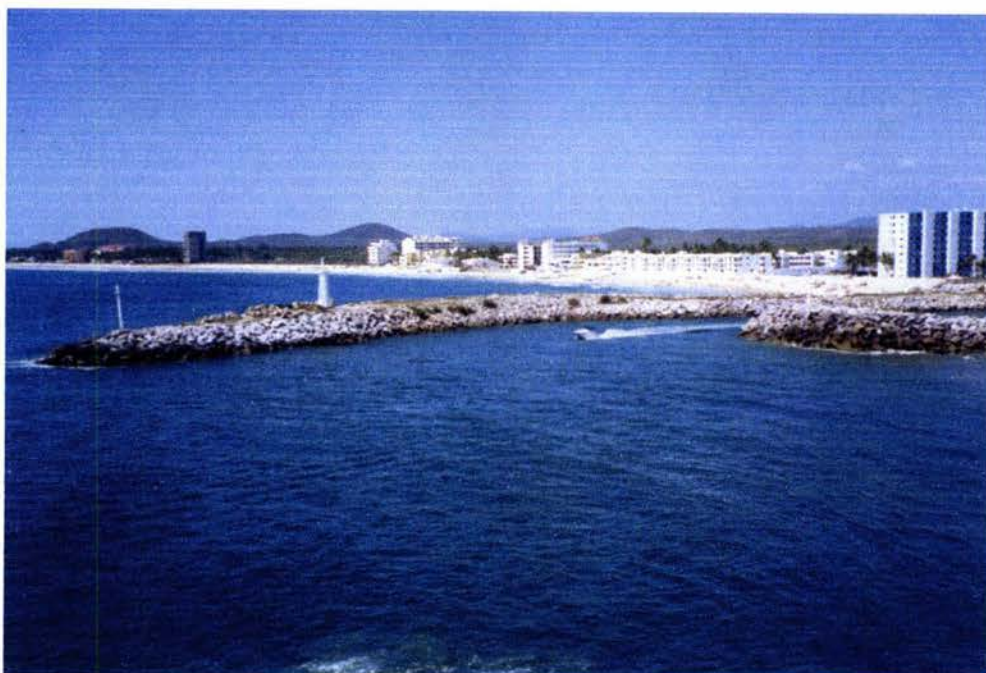
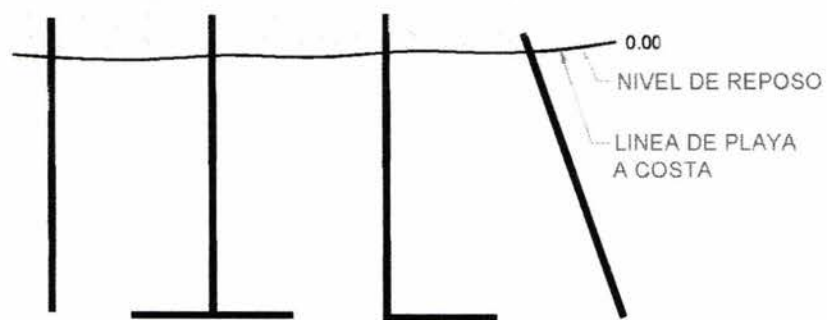
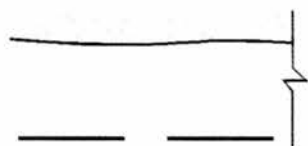


Fig. 9 Foto de una escollera construida en Mazatlán



A) ESPIGONES UNIDOS A LA COSTA



b) Espigones separados y paralelos a la línea de costa



c) Espigones separados e inclinados a la línea de costa

Fig. 10 Tipos de espigones



Fig. 11 Foto de un espigón perpendicular a la costa

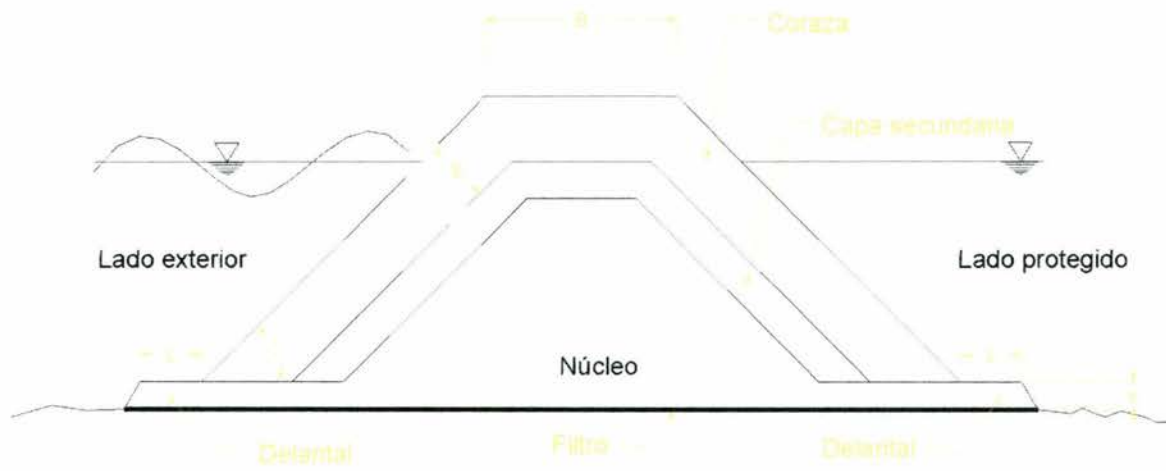


Fig. 12 Componentes de las obras de protección

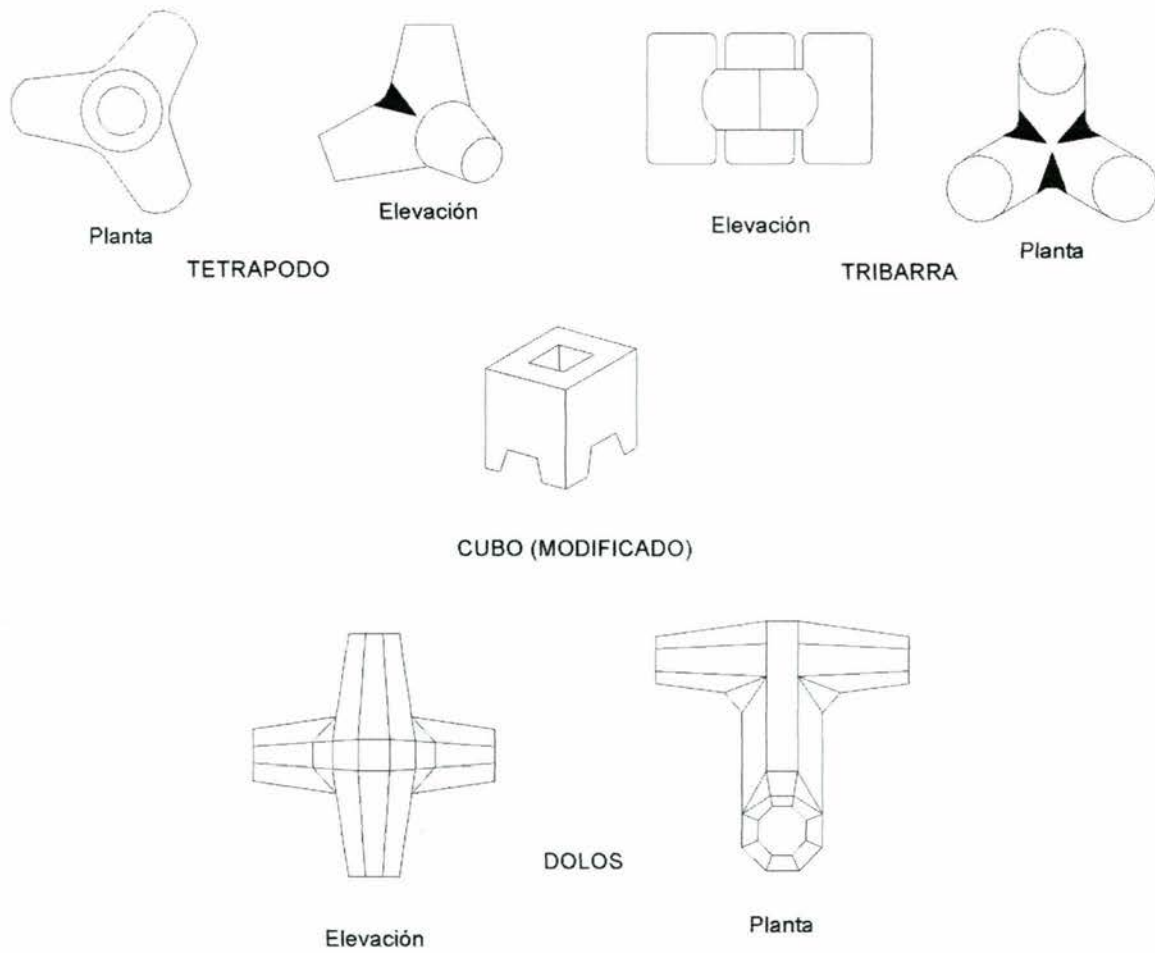


Fig. 13 Elementos prefabricados

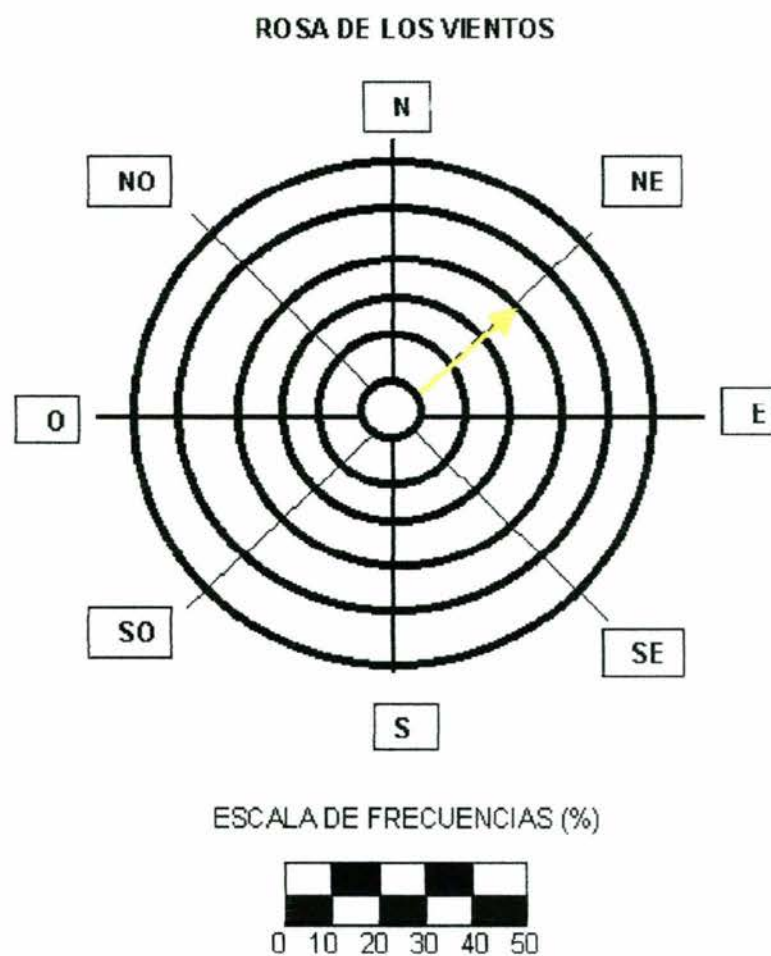


Fig 14 Rosa de los vientos



Fig. 15 Vista de la escollera rebasada por el azolve del Río Baiuarte



Fig. 16 Azolvamiento de la desembocadura del Río Baluarte

ANEXOS

ANEXO A

REQUISITOS PARA LA MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

I. DATOS GENERALES DEL PROYECTO, DEL PROMOVENTE Y DEL RESPONSABLE DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

1.1 Proyecto

- 1.1.1 Nombre del proyecto
- 1.1.2 Ubicación del proyecto
- 1.1.3 Tiempo de vida útil del proyecto
- 1.1.4 Presentación de la documentación legal

1.2 Promovente

- 1.2.1 Nombre o razón social
- 1.2.2 Registro Federal de Contribuyentes del provente
- 1.2.3 Nombre y cargo del representante legal
- 1.2.4 Dirección del promoverte o de su representante legal

1.3 Responsable de la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental

- 1.3.1 Nombre o razón social
- 1.3.2 Registro Federal de Contribuyentes
- 1.3.3 Nombre del responsable técnico del estudio
- 1.3.4 Dirección del responsable técnico del estudio

II. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

2.1 Información general del proyecto

- 2.1.1 Naturaleza del proyecto
- 2.1.2 Selección del sitio
- 2.1.3 Ubicación física del proyecto

2.1.4 Inversión requerida

2.1.5 Dimensiones del proyecto

2.1.6 Uso actual de suelo y/o cuerpos de agua en el sitio del proyecto y en sus colindancias

2.1.7 Urbanización del área y descripción de servicios requeridos

II.2 Características particulares del proyecto

2.2.1 Programa general de trabajo

2.2.2 Preparación del sitio

2.2.3 Descripción de obras asociadas al proyecto

2.2.4 Etapa de abandono del sitio

2.2.5 Etapa de operación y mantenimiento

2.2.6 Descripción de obras asociadas al proyecto

2.2.7 Etapa de abandono del sitio

2.2.8 Utilización de explosivos

2.2.9 Generación, manejo y disposición de residuos sólidos, líquidos y emisiones a la atmósfera

2.2.10 Infraestructura para el manejo y disposición adecuada de los residuos

III. VINCULACIÓN CON LOS ORDENAMIENTOS JURÍDICOS APLICABLES EN MATERIA AMBIENTAL Y EN SU CASO, CON LA REGULACIÓN DEL USO DE SUELO.

IV. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA AMBIENTAL Y SEÑALAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DETECTADA EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO. INVENTARIO AMBIENTAL

4.1 Delimitación del área de estudio

4.2 Caracterización y análisis del sistema ambiental

4.2.1 Aspectos abióticos

a) Clima

b) Geología y Geomorfología

c) Suelos

d) Hidrología superficial y subterránea

4.2.2 Aspectos bióticos

a) Vegetación terrestre

b) Fauna

4.2.3 Paisaje

4.2.4 Medio socioeconómico

a) Demografía

b) Factores socioculturales

4.2.5 Diagnóstico ambiental

a) Integración e interpretación del inventario forestal

b) Síntesis del inventario

V. IDENTIFICACIÓN, DESCRIPCIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES

5.1 Metodología para identificar y evaluar los impactos ambientales

5.1.1 Indicadores de impactos

5.1.2 Lista indicativa de indicadores de impactos

5.1.3 Criterios y metodologías de evaluación

5.1.3.1 Criterios

5.1.3.2 Metodologías de evaluación y justificación de la metodología seleccionada

VI. MEDIDAS PREVENTIVAS Y DE MITIGACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES

6.1 Descripción de la medida o programas de medidas de mitigación o correctivas por componente ambiental

6.2 Impactos residuales

VII. PRONÓSTICOS AMBIENTALES Y EN SU CASO, EVALUACION DE ALTERNATIVAS

7.1 Pronósticos del escenario

7.2 Programa de vigilancia ambiental

7.3 Conclusiones

VIII. IDENTIFICACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS METODOLÓGICOS Y ELEMENTOS TÉCNICOS QUE SUSTENTAN LA INFORMACIÓN SEÑALADA EN LAS FRACCIONES ANTERIORES

8.1 Formatos de presentación

8.1.1 Planos definitivos

8.1.2 Fotografías

8.1.3 Videos

8.1.4 Lista de flora y fauna

8.2 Otros anexos

8.3 Glosarios de términos

ANEXO. MÉTODOS PARA IDENTIFICACIÓN, PREDICCIÓN Y EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXO B

ALGUNOS CONCEPTOS IMPORTANTES EN EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PROTECCIÓN MARÍTIMA

1. Cálculo de los pesos

Para calcular los pesos de las diferentes capas del enrocamiento se recomienda utilizar las fórmulas propuestas por Hudson e Iribarren, ya que las dos han sido utilizados durante muchos años obteniendo buenos resultados.

a) Ecuación de Hudson

$$W = \frac{\gamma_s (H_d)^3}{K_d (Ss - 1)^3 \cot \alpha} \quad (\text{B - 1})$$

donde:

W , peso de cada elemento de coraza, en t

H_d , altura de ola de diseño, en m

γ_s , peso específico de los elementos de coraza, en t/m³

K_d , coeficiente de trabazón, adimensional

Ss , densidad relativa del material que constituye los elementos, adimensional

α , ángulo formado entre la horizontal y el talud en grados

Al aplicar la fórmula de Hudson debe seleccionarse el valor de K_D que corresponda, de acuerdo a la Tabla B - 1 donde se considera un posible daño del 0 al 5%. Si se requiere admitir un mayor porcentaje de daño, entonces K_D se determina con la Tabla B - 2.

Tabla B - 1 Valores recomendados de K_D para determinar el peso de las unidades de coraza (sin daños)

Tipos de elementos en la coraza	$n^{(1)}$	Colocación	KD ⁽²⁾ en cuerpo del rompeolas		KD en morro del rompeolas		Talud cot θ
			Ola rompiente	Ola no rompiente	Ola rompiente	Ola no rompiente	
Roca de cantera:	2	Azar	1.2	2.4	1.2	1.9	1.5 a 3.0 (5)
Lisa y redondeada	>3	Azar	1.6	3.2	1.4	2.3	
Lisa y redondeada	1	Azar ⁽²⁾	(2)	2.9	(2)	2.3	
Rugosa y angulosa	2	Azar	2.0	4.0	1.9 1.6 1.3	3.2 3.8 2.3	1.5 2.0 3.0
Roca rugosa y angulosa	>3	Azar	2.2	4.5	2.1	4.2	(5)
	2	Especial ⁽³⁾	5.8	7.0	5.3	6.4	(5)
Tetrápodos y cuadrípodos	2	Azar	7.0	8.0	5.0 4.5 3.5	6.6 5.5 4.0	1.5 2.0 3.0
Tribarras	2	Azar	9.0	10.0	8.3 7.8 6.0	9.0 8.5 6.5	1.5 2.0 3.0
Dolos	2	Azar	15.0	31.0	8.0 7.0	16.0 14.0	2.0 ⁽⁶⁾ 3.0
Cubo modificado	2	Azar	6.5	7.5	--	5.0	(5)
Hexápodo	2	Azar	8.0	9.5	5.0	7.0	(5)
Toskanes	2	Azar	11.0	22.0	--	--	(5)
Tribarra	1	Uniforme	12.0	15.0	7.5	9.5	(5)

Tabla B - 2 Valores de K_D en función del daño sobre la coraza y el tipo de elementos utilizado

Tipo de elemento	Daños, en porcentaje (D)						
	0 a 5	5 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	30 a 40	40 a 50
Roca de cantera (lisa)	2.40	3.00	3.60	4.10	5.10	6.70	8.70
Roca de cantera (rugosa)	4.00	4.90	6.60	8.00	10.00	12.40	15.00
Tetrápodo y cuadrípodo	8.30	10.80	13.40	15.90	19.20	23.40	27.80
Tribar	10.40	14.20	19.40	26.20	35.20	41.80	45.90

Cuando el oleaje rompe contra la estructura, el talud expuesto se construirá con roca de peso W , lo mismo se hará con toda la corona. En cambio el talud protegido se construirá con roca que tenga un peso $W/2$ como se indica en la Fig. B - 1.

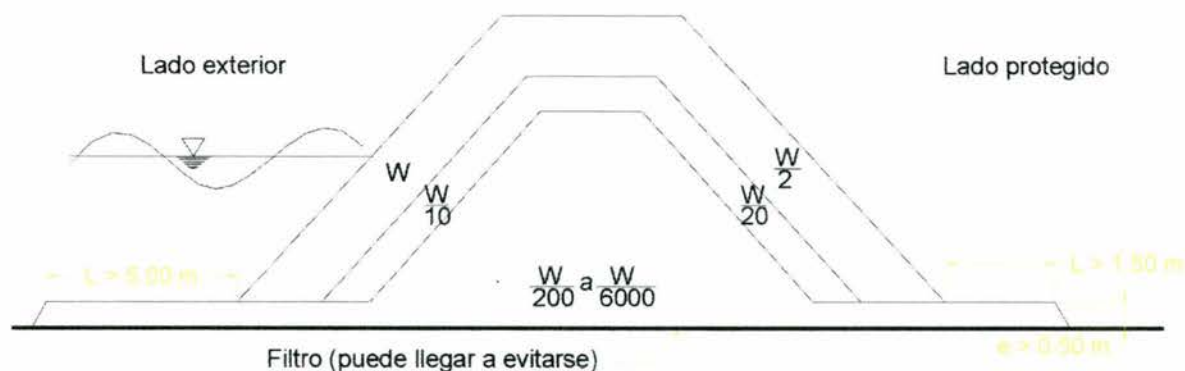


Fig. B - 1 Sección para oleaje rompiente, sin paso de la ola sobre la corona

Cuando el oleaje es no rompiente, es recomendable que los pesos de la roca sean de acuerdo a la Fig. B - 2. Para la formación del morro, se recomienda distribuir los tamaños de los elementos como se muestra en la Fig. B - 3.

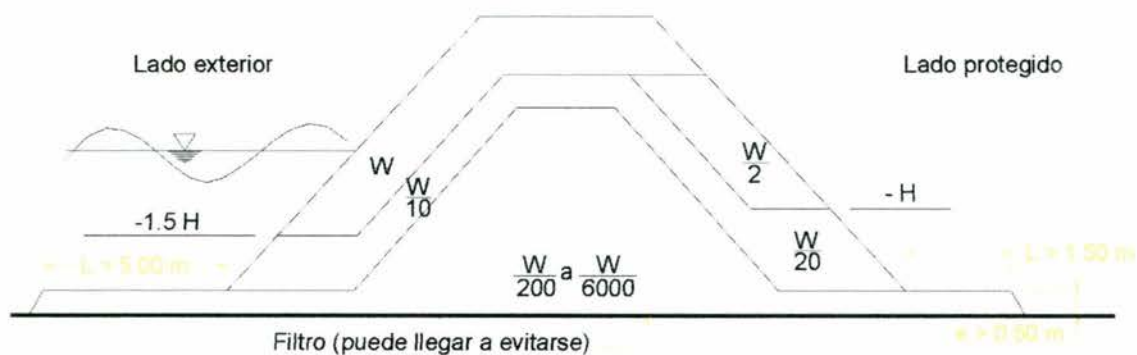


Fig. B - 2 Sección para oleaje no rompiente, sin paso de la ola sobre la corona

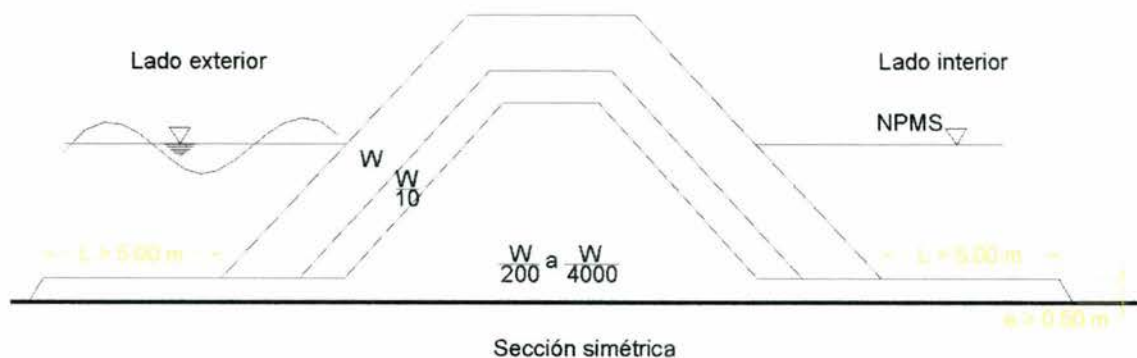


Fig. B - 3 Sección transversal para el morro de una estructura formada con enrocamiento o elementos prefabricados

b) Ecuación de Iribarren:

$$P = \frac{NH^2d}{(\cos \alpha - \text{sen} \alpha)^3 (d-1)^3} \quad (B - 2)$$

donde:

P, peso de la piedra, en t.

H, altura de ola

d, densidad de la roca

α , ángulo con la horizontal del talud del rompeolas

N, coeficientes que dependen del tipo de material empleado en el rompeolas

- 0.015 para roca

- 0.019 para cubos

Cálculo del ancho de la corona

El ancho de la corona de un enrocamiento a talud depende principalmente de la cantidad de **overtopping** que se desee permitir y de las limitaciones constructivas; en general se calcula con la siguiente expresión:

$$B = nk_{\Delta} \left(\frac{W}{W_r} \right)^{1/3} \quad (\text{B - 3})$$

donde:

B, ancho de la corona (m)

n, número de rocas ($n = 3$, mínimo recomendado)

k_{Δ} , coeficiente de capa (ver Tabla B - 3)

W, peso de las unidades de coraza (kg)

W_r , peso específico de la unidad de coraza (kg/m^3)

Tabla B - 3 Coeficientes de capa y porosidad para diferentes unidades

Elemento de coraza	n	Colocación	Coefficiente de capa K_{Δ}	Porosidad (P), en %
Roca de cantera (lisa)	2	Volteo	1.00	38
Roca de cantera (rugosa)	2	Volteo	1.15	37
Roca de cantera (rugosa)	3	Volteo	1.10	40
Cubo modificado	2	Volteo	1.10	47
Tetrápodo	2	Volteo	1.04	50
Quadripodo	2	Volteo	0.95	49
Hexápodo	2	Volteo	1.15	47
Tribar	2	Volteo	1.02	54
Tribar	1	Uniforme	1.13	47
Dolos	2	Volteo	0.94	56
Toskanes	2	Volteo	1.03	52

Cálculo del espesor de las capas

El espesor de las capas que constituyen a los enrocamientos está determinado por la siguiente fórmula:

$$r = nK_{\Delta} \left(\frac{W}{W_r} \right)^{1/3} \quad (\text{B - 4})$$

donde:

r , espesor promedio de capa (m)

n , número de capas elementos que componen la capa de coraza

W , peso de las unidades de la capa (kg)

W_r , peso específico de los elementos (kg/m^3)

k_{Δ} , coeficiente de capa (ver Tabla B - 3)

BIBLIOGRAFIA

1. Bustamante Ahumada R., Ingeniería Marítima, Temas Marítimos, México, 1976.
2. Macdonel G.; Pindter J. y otros; Ingeniería Marítima y Portuaria; México; Alfaomega; 1999.
3. Frías Valdez A. y Moreno Cervantes G., Ingeniería de Costas, Limusa, México, 1988.
4. Quinn Alonzo de F., Desing and Construction of Ports and Marine Structures, Segunda Edición, McGraw – Hill. New York, 1972.
5. Pindter J., Curso de Obras Marítimas y Portuarias, Facultad de Ingeniería, UNAM, 1992.
6. Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), Normas para Construcción e Instalaciones "Costas y Puertos", SCT, 1984.
7. Jaime Robles E., Curso de Hidrología, Escuela de Ingeniería de Mazatlán, UAS.
8. Sánchez Coronel Jorge A., Tesis de Construcción de terraplenes sobre suelos blandos en el Estado de Sinaloa, UNAM, 2003.
9. Suárez Salazar Carlos, Metodología en el Desarrollo de Concursos de Obra Pública Federal 2002, Limusa, México.
10. Mcdonel Martínez Guillermo, Curso de Ingeniería de Costas, División de Educación Continua de la Facultad de Ingeniería, UNAM, México, 1989.
11. Iribarren C. R., Obras Marítimas, Dossat, Madrid, 1990.
12. Elizondo M. R., Notas del curso de Control de Calidad y Diseño de Especificaciones.

13. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Ejecución de Supervisión de Obras "N.LEG.4/02".
14. Secretaría de Pesca (SEPESCA), Informe definitivo de los estudios físicos y proyecto de estabilidad de la desembocadura del Río Baluarte, en Sinaloa, 1990.
15. Servicio Meteorológico Nacional, 2004.
16. Gonzáles Salas Dante A., Apuntes de Hidráulica e Ingeniería Marítima, Escuela de Ingeniería de Mazatlán, Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS), 2001.
17. Pindter Vega Julio, Apuntes de Ingeniería Marítima, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), 2004.
18. Corichi Flores Agustín, Primer Curso Internacional de Desarrollo Marítimo, Portuario y Costero, División de Educación Continua de la Facultad de Ingeniería, UNAM, México, 1989.