



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**Escuela Nacional de Estudios Profesionales
ACATLAN**



**PROYECTO DE OBRAS EXTERIORES DEL PUERTO
INDUSTRIAL Y COMERCIAL DE SALINA, CRUZ**

T E S I S

Que para obtener el Título de
INGENIERO CIVIL

Presenta:

JORGE ALBERTO REYES CISNEROS



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 está 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.



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
COORDINACION DEL PROGRAMA DE INGENIERIA

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

CI/171/1985.

SR. JORGE ALBERTO REYES CISNEROS
Alumno de la carrera de Ingeniería
Civil.
P r e s e n t e .

De acuerdo a su solicitud presentada con fecha 1° de agosto de 1985, me complace notificarle que esta Coordinación tuvo a bien asignarle el siguiente tema de tesis: "Proyecto de Obras Exteriores - del Puerto Industrial y Comercial de Salina Cruz", el cual se desarrollará como sigue:

- Introducción.
- I.- Planeación General del Puerto.
- II.- Características Meteorológicas y Oceanográficas en la Zona.
- III.- Análisis del Transporte Litoral.
- IV.- Dimensionamiento de los Rompeolas de Enrocamiento.
- Conclusiones y Recomendaciones.
- Bibliografía.

Asimismo fue designado como Asesor de Tesis el señor Ing. Joaquín Rebuelta Gutiérrez.

Ruego a usted tomar nota que en cumplimiento de lo especificado en la Ley de Profesiones, deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito básico para sustentar - examen profesional, así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado. Esta comunicación deberá imprimirse en el interior de la tesis.

Atentamente,
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Acatlán, Edo. de Méx., a 28 de noviembre de 1985.


ING. HERMENEGILDO ARCOS SERRANO
Coordinador del Programa de
Ingeniería.

HAS/rcm.

INDICE

PAG.

"PROYECTO DE OBRAS EXTERIORES DEL PUERTO INDUSTRIAL Y COMERCIAL DE SALINA CRUZ"	
INTRODUCCION.....	1
I. PLANEACION GENERAL DEL PUERTO.....	5
I.1. Descripción y Selección de Alternativas por zonas.....	7
I.2. Evaluación y Selección del Sitio.....	14
I.3. Descripción y Evaluación de alternativas en cuanto a su arreglo.....	17
II. CARACTERISTICAS OCEANOGRAFICAS Y METEOROLOGICAS DE LA ZONA....	28
II.1. Vientos.....	29
II.1.1 Vientos Locales.....	30
II.1.2 Recopilación de datos.....	31
II.1.3 Resultados y Diagramas de Lenz.....	37
II.2. Oleaje.....	43
II.2.1 Generalidades.....	45
II.2.2 Régimen de oleaje.....	50
II.2.3 Resultados de los análisis estadísticos y probabi- listicos de diferentes fuentes de previsión de -- oleaje.....	54
II.3. Corrientes.....	58
II.3.1 Clasificación.....	58
II.3.2 Análisis y resultados de las Campanas de medición directa de corrientes.....	61

II.4	Mareas.....	65
II.4.	Recopilación y Analisis de Mareas.....	67
II.4.2	Análisis de la Campaña de Registro Continuo.....	70
III. ANALISIS DEL TRANSPORTE LITORAL		
III.1.	Nociones de Dinámica Litoral.....	72
III.2.	Muestreo y Características de los sedimentos.....	81
III.3.	Método para calcular diagramas de refracción de oleaje.....	85
III.4.	Quantificación del transporte litoral por diversos métodos.....	96
III.4.1	Reporte de dragados en el puerto actual.....	98
III.4.2	Trazadores radiaactivos.....	100
III.4.3	Criterio de Larras.....	105
III.4.4	Criterio del IV Congreso Nacional de Hidráulica.....	116
III.4.5	Quantificación Teórica Retrospectiva.....	121
III.4.6	Medición Directa Mediante un Espigón de Prueba.....	125
III.4.7	Quantificación Teórica Probabilística.....	127
IV.	DIMENSIONAMIENTO DE LOS ROMPEOLAS DE ENRROCAMIENTO.....	135
IV.1	Características del Oleaje.....	136
IV.1.1	Parametros del Oleaje.....	137
IV.1.2	Selección de la ola de diseño.....	137
IV.2	Estabilidad de las estructuras de enrrocamiento.....	143
IV.2.1	Elementos y talud de la coraza.....	145
IV.2.2	Selección del coeficiente KD.....	148
IV.3	Diseño del rompeolas.....	155
IV.3.1	Calculo de espesores de las capas.....	158
IV.3.2	Elevación y ancho de las coronas.....	160
IV.3.3	Calculo de volúmenes de material.....	167
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		168
BIBLIOGRAFIA.....		172

I N T R O D U C C I O N

En virtud de la creciente necesidad de materias primas por parte de los países desarrollados y de productos elaborados por los restantes, el desigual reparto de estas materias primas sobre la superficie de la tierra, obliga a la realización de transportes masivos desde los centros productores hasta los consumidores y por otras muchas razones, se ha originado la creación de una red de transportes que cubre toda la superficie terrestre.

Esta red forma una verdadera cadena, cuyos eslabones son los -- distintos medios de transporte o manipulación, pudiendo éstos -- ser de tipo sencillo (unión de dos puntos por un transporte terrestre) o el de máxima complejidad cuando se trata de unir dos lugares situados en continentes diferentes, realizando la transferencia de mercancías entre los distintos medios de transporte.

Por las razones anteriores expuestas, la definición de puerto -- más adecuada en nuestra realidad puede ser la siguiente: Es el conjunto de obras, instalaciones y organizaciones, que permite al hombre aprovechar un lugar de la costa más o menos favorable para realizar las operaciones de intercambio entre el tráfico -- marítimo y terrestre, atender las necesidades de los medios de transporte y facilitar el desarrollo de cuantas actividades relacionadas se instalen en su zona.

Los puertos pueden clasificarse de muy diversas maneras, dependiendo entre otros muchos factores del emplazamiento o localización. En algunas ocasiones, la localización del puerto es tal, que la naturaleza proporciona en forma completamente natural, - condiciones para que los barcos puedan navegar y al mismo tiempo, tener la protección que es requerida para poder hacer las - operaciones de carga y descarga.

En algunas otras ocasiones, es necesario crear las condiciones de navegabilidad y abrigo por medio de obras de ingeniería.

Particularmente, en el caso del proyecto del puerto industrial y comercial de Salina Cruz. fue necesario proyectar obras exte riores que proporcionen protección; estas obras son dos rompeo leolas perpendiculares a la costa.

Como su nombre lo indica, la función general de los rompeolas es disipar la energía del oleaje para crear una zona de aguas tranquilas donde los barcos puedan efectuar sus maniobras diversas - cuya culminación es, generalmente, su carga y/o descarga. Adicional a esta función básica, el rompeolas puede desempeñar otros - complementarios que condicionan, en buena medida el diseño de estas obras.

Con estas ideas modernizadas sobre los elementos a considerar sobre la planeación de los puertos, podemos observar claramente -- que el concepto de "puerto" ha dado un giro notable, ya no sien-

do aquel lugar que proporcione protección natural a una costa, - sino un lugar ubicado en un punto en el cual se dé salida o entrada a productos, cercano a su zona de influencia.

Si las condiciones naturales de la costa no son favorables naturalmente, se deberán proyectar obras que proporcionen estas ventajas.

Así pues, el proyecto de las obras exteriores del puerto industrial y comercial de Salina Cruz, tomando en cuenta todas estas condiciones, está basado en los siguientes estudios que forman parte de este trabajo.

La planeación general del puerto como punto de partida para lograr una ubicación idónea respetando todas las posibles restricciones que puedan presentarse en algún momento.

Dentro de los estudios meteorológicos y oceanográficos, apoyándose en informaciones estadísticas y campañas de medición directa se llegan a resultados más o menos concretos de estos factores (viento, oleaje, corrientes y mareas), que tanta influencia tienen en estas obras. La complejidad de estos fenómenos obliga a hacer algunas hipótesis simplificadorias donde el buen juicio del proyectista, apoyado en el conocimiento que tenga del lugar desempeñará un papel fundamental.

Para la protección en contra del transporte litoral del canal - de navegación y previendo posibles azolvamientos en la zona del puerto, se hace especial énfasis en diversos métodos de cuantificación del transporte litoral, hasta llegar a resultados teóricos y muy cercanos a la realidad.

Finalmente, en el último capítulo se describe la memoria de -- cálculo de los rompeolas de enrocamiento; estos diseños están basados principalmente, en la experiencia y conocimientos adqui ridos a través de las obras realizadas en lugares específicos.- Los fenómenos que se presentan sobre los taludes de las obras, y las fuerzas que se generan, no son posibles analizarlas de - una manera teórica, sino que el problema se ha resuelto en una forma empírica y los resultados que se pueden obtener han sido satisfactorios.

C A P I T U L O I

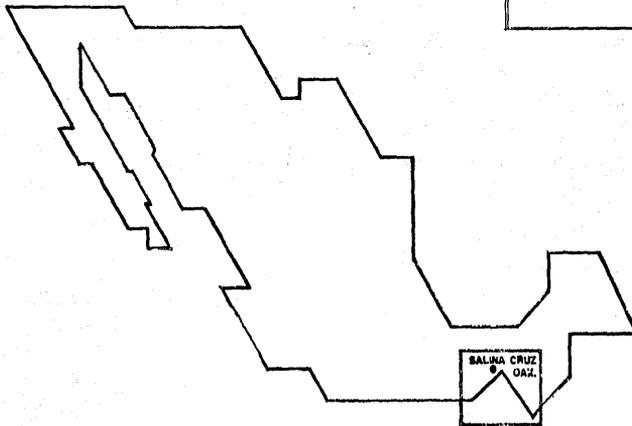
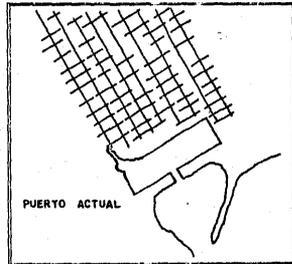
PLANEACION GENERAL DEL PUERTO

Debido a la ubicación geográfica del Istmo de Tehuantepec, éste tiene una importancia trascendental para el intercambio de mercancías desde el Océano Pacífico al Atlántico o viceversa; los estudios actuales de los diversos medios de transporte, hacen - que sea necesario la implantación de un sistema ferroviario entre Coatzacoalcos, Veracruz y Salina Cruz, Oaxaca.

Precisamente este sistema de transporte habrá de complementarse con un sistema de transporte marítimo, que son la ampliación o construcción de un nuevo puerto en Salina Cruz, el cual se proyectará tomando en cuenta su zona de influencia económica y su función como un puerto de intercambio de productos. En el plano P.1 se muestra la ubicación del puerto de Salina Cruz, Oaxaca.

Como factor fundamental para la planeación del desarrollo portuario, se deben tomar en cuenta las perspectivas de movimiento de carga, proyectadas al año 2,000, distribuidas de la siguiente manera 50 millones de Ton./año, de petróleo crudo; 20 millones de Ton./año, de derivados de petróleo; 2 millones de Ton./año de - contenedores y carga general; 2 millones de Ton./año, de cemento 3 millones de Ton./año, de minerales; 1 millón de Ton./año de - fertilizantes; 2 millones y medio de ton./año, de industrias ge

PUERTO INDUSTRIAL Y COMERCIAL
DE SALINA CRUZ OAXACA.



nerales; 0.5 millón de Ton./año, de la industria petroquímica; 0.2 millón de Ton./año, de la industria pesquera y para reparaciones navales se prevee una superficie de 60 hectáreas. Lo anterior, plantea la necesidad de habilitar una superficie de -- 3,000 hectáreas; cuya localización se determinará en la selección de la alternativa más adecuada.

I.1.- DESCRIPCION Y SELECCION DE ALTERNATIVAS, POR ZONAS.

Dentro de la zona de estudio se identificaron cuatro sitios, - como los más adecuados para el desarrollo portuario. Las alternativas se clasifican de la siguiente forma:

- a).- San Mateo del Mar-Mar Tileme
- b).- Bahía La Ventosa
- c).- Salina del Marqués
- d).- Punta Conejos-Bahía del Marqués.

San Mateo del Mar-Mar Tileme.- Se localiza al Este del puerto actual, a 25 Kms. Consiste básicamente en un desarrollo portuario sobre el cordón litoral de la laguna Superior a la altura de San Mateo del Mar, y aprovecha los accidentes topográficos de la laguna Quira y Mar Tileme.

Existen grandes transportes eólicos, por lo cual hay gran desfo restación, y la agricultura sólo se practica para el autoconsu-

mo. Sus terrenos planos, ofrecen grandes posibilidades de extensión para futuros desarrollos.

Debido a que se trata de una zona desprotegida de la acción de los vientos y oleajes, habrá grandes transportes litorales.

Por su ubicación y desarrollo en lo relativo a canales interiores y dársenas, requerirá grandes dragados y para alcanzar la batimétrica -25 metros, requerida para el canal de navegación, será necesario un dragado de 5 Kms. en dirección Norte-Sur, lo que equivale a un volumen de dragado de 45 millones de M^3 .

La obra de protección, será rompeolas de encauzamiento del acceso, con suficiente longitud para controlar los procesos litorales y brindar condiciones favorables a la navegación. La longitud del rompeolas sería de 2 Kms.

Aunque, el desarrollo portuario terrestre estará en zona lacustre, el relleno sería de tan solo 10 millones de M^3 , debido a la poca profundidad existente ahí.

Esta alternativa, es la más alejada de los servicios actuales, siendo Salina Cruz, el poblado más próximo que cuenta con éstos. Se estima un desarrollo de 35 Kms. para estos servicios, además de un puente para el cruce del Río Tehuantepec.

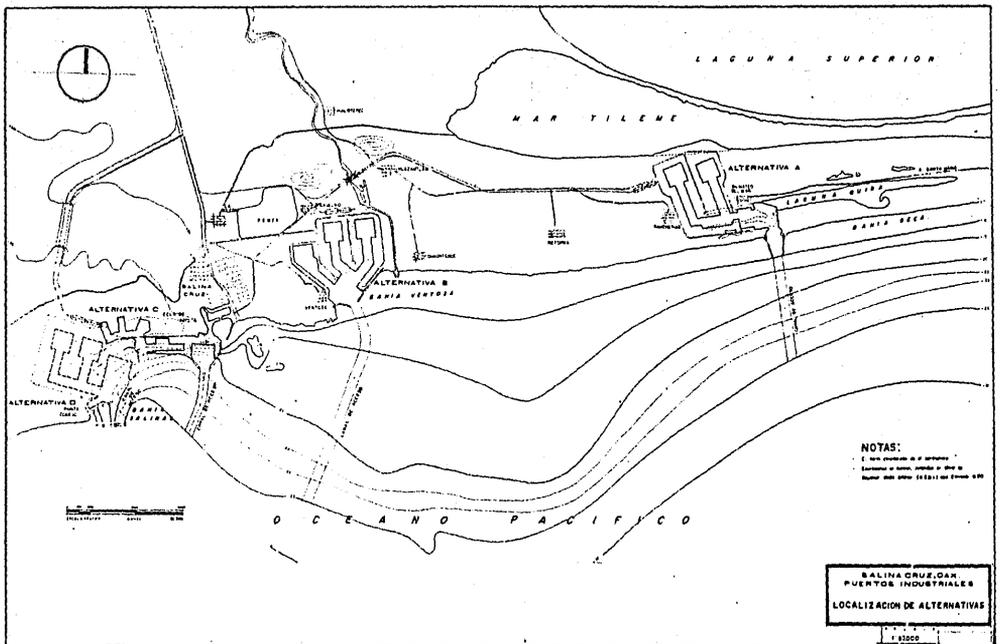
Todas las alternativas necesitan la misma superficie, solo que ésta, por estar fuera de la Zona Federal Marítima, requiere la adquisición de 1,500 hectáreas, aproximadamente, las cuales, - aunque no son productivas, sí son caras, por ser ahí una zona conflictiva.

Dada la ubicación del sitio en estudio, al Sur de la Laguna Superior, existen evidencias, de que el viento del Norte, ha provocado dunas, que incluso, han seccionado la laguna Quira; por tal razón, habrá necesidad de reforestar unas 2,300 hectáreas, para protegerlas de la acción de estos agentes.

El arreglo de ésta y de las siguientes alternativas se muestra en el plano P.1.1.

Bahía La Ventosa.- Se localiza al Este de Salina Cruz a 45 Kms. Esta alternativa consiste en un arreglo marítimo-terrestre, -- aprovechando el promontorio rocoso de Punta Ventosa, que brinda un abrigo natural a esta bahía. Los terrenos planos están en el estero de la ventosa y la desembocadura del Río Tehuantepec. Las características más desfavorables son: la protección natural, que la hacen la de más baja agitación; la proximidad de la refinería de PEMEX; la acción de los vientos del Norte, - que son los que azotan con mayor frecuencia a la zona.

La configuración batimétrica de esta alternativa demanda grandes



NOTAS:

- El tipo de terreno es el siguiente:
- Escala: 1:5000. Fuente: S. P. O. S.
- Fuente: S. P. O. S. (1951) del Estado Oax.

SALINA CRUZ, OAX.
PUERTOS INDUSTRIALES
LOCALIZACION DE ALTERNATIVAS

1:5000

dragados, pues aunque se trata de terrenos planos, éstos son - relativamente altos. Se prevee que la cantidad de dragado, son 90 millones de M³.

Para protegerlo de la acción de oleajes del Sur y Sureste, y - de los azolamientos producidos por el Río Tehuantepec, y para - brindar una zona de abrigo marítimo, se proyecta un rompeolas con una longitud de 2.7 Kms.

Debido a lo alto de los dragados, los rellenos son pequeños, - del orden de los 7 millones de M³.

Dada la proximidad al poblado de Salina Cruz, siendo la extensión vial y de servicios, carretera y vía férrea de 4 Kms., resulta el factor más económico. La superficie aproximada de terrenos por adquirir es de 730 hectáreas.

Será también necesario encauzar dos descargas al mar, que obstaculizan el desarrollo portuario. Una es la del Río Tehuantepec, que se encauzará al mar Tileme con una longitud de 3.5. Kms. la otra es la del emisor de PEMEX, la cual para reubicarla se tendrá que hacer un encauzamiento de 2.36 Kms. aproximados.

Salina del Marqués.- Está colindante al puerto actual, hacia - el W, en la zona de la Bahía del Marqués; contempla su desarrollo aprovechando las grandes profundidades que existen en esta

zona, conocida como Cola de Pato, donde existe un espigón de prueba, que podría ser el arranque de los rompeolas, además, para su expansión, se considera que la Laguna del Marqués, ofrece posibilidades.

La alternativa plantea la prioridad del desarrollo petrolero en la zona comprendida entre el espigón de Cola de Pato y el rompeolas W, actual, en una área marítima, la cual podría considerarse limitada en su expansión por el promontorio rocoso al N de éste.

Esta zona ofrece ciertas ventajas con respecto de las anteriores, ya que su establecimiento es prácticamente en Zona Federal; los accidentes topográficos ofrecen una protección contra los fuertes vientos del N que azotan en la zona.

Por su concepción marítima, y el aprovechamiento de lo bajo de la zona terrestre, es la que menos dragados requiere, localizándose la batimetría requerida a 3 Kms. de la costa. Se estima un dragado de 20 millones de M³.

Ahora bien, por la misma razón descrita anteriormente, los requerimientos de obra de protección serían mayores que en cualquiera de las alternativas ya expuestas, estimándose una longitud de 4.5 Kms. de rompeolas para estos fines. Por esto mismo, los rellenos son considerables, además, por el hecho de que hay

que cubrir una serie de afloramientos rocosos, en donde se ubicarán patios para instalaciones de tanques. El volumen por rellenera, se estima en 25 millones de M³.

Aunque la proximidad al puerto de Salina Cruz, es pequeña, los accidentes topográficos implican un desarrollo vial de 4 Kms., requiriéndose un túnel de 1.5 Kms. que atravesase los cerros - que obstaculizan la comunicación.

Punta Conejos - Bahía del Marqués.

Localizada en la Bahía del Marqués al W del puerto actual, en la zona conocida como Punta Conejos.

La alternativa se apoya en un promontorio rocoso conocido como Punta Conejos, que dá lugar a la formación de la bahía, que -- cuenta con grandes profundidades próximas a la costa. Por otra parte, existen esteros en la parte terrestre de esta zona, comunicada con la Laguna del Marqués, donde quedaría ubicado el -- desarrollo marítimo-terrestre. La zona, prácticamente no es -- aprovechada para fines agrícolas y puede considerarse como Zona Federal, no existiendo asentamientos urbanos en ésta.

Los terrenos son planos, con posibilidades de extensión, muy -- grande; está protegida del oleaje SW, aunque desprotegido de -- los vientos que causen desforestación y transportes eólicos en algunos puntos.

Esta alternativa es muy similar a la anterior, ya que incluso, es la misma bahía, solo que en su extremo opuesto.

Por su carácter de desarrollo marítimo, el volumen a dragar se considera del orden de 30 millones de M^3 . La batimetría-25 Mts. se encuentra a 2.5 Kms. de la costa. Por las mismas razones, - los requerimientos de obras exteriores son grandes, de 3.4. -- Kms. de longitud. Los rellenos son compensables con los dragados, estimándose en 25 millones de M^3 .

Los accesos terrestres y servicios urbanos, tienen las mismas dificultades que alternativa anterior, solo que por encontrarse más alejado del sitio que posee los servicios, son mayores en su longitud.

Debido a la desforestación y existencia de grandes dunas desprotegidas, se requerirá estabilizarlas y evitar problemas de azolvamientos, en una superficie de 350 Has.

I. 2.- EVALUACION Y SELECCION DEL SITIO.

En base a precios índice (tabla 1.2.a.) se evaluaron las alternativas descritas anteriormente y los resultados se ilustran - en la tabla 1.2.b. como puede verse, la alternativa B, ubicada en la bahía de La Ventosa, es la más costosa, siguiendo a este orden la alternativa A, en la zona de San Mateo del Mar, la --

cual, además ofrece incertidumbre en la operación portuaria, --
por los fuertes vientos que azotan la zona.

En cuanto a las alternativas restantes, son muy similares, --
aunque la alternativa C es la más económica, pudiéndose con- -
cluir que el sitio más adecuado para la ubicación de puerto, -
es la zona Bahía del Marqués, sobre la cual, se pueden propo-
ner múltiples arreglos, que determinen la disposición y funcio
nalidad óptima.

TABLA 1.2.a. PRECIOS INDICE

C O N C E P T O	UNIDAD	COSTO (PESOS)
Dragados	M ³ .	40.00
Rompeolas	M ³ .	300,000.00
Rellenos (prod. dragado).	M ³ .	10.00
Rellenos (banco de préstamo)	M ³ .	50.00
Carretera (plano)	Km.	3'000,000,00
Carretera (montaña)	Km.	3'500,000.00
Ferrocarril (plano)	Km.	8'000,000.00
Ferrocarril (Montaña)	Km.	12'000,000.00
Servicios (luz, agua, Tel. etc.)	Km.	1'500,000.00
Estabilización de dunas	Ha.	70,000.00
Encauzamiento	Km.	13'500,000.00
Emisor	M.	50,000.00
Túnel	M.	56,000.00

TABLA 1.2.b. EVALUACION DEL SITIO

S I T I O	MONTO DE LA INVERSION
San Mateo del Mar	\$ 5,900'000,000.00
La Ventosa	7,100'000,000.00
Cola de Pato	5,150'000,000.00
Punta Conejos	5,200'000,000.00

I. 3.- DESCRIPCION Y EVALUACION DE ALTERNATIVAS EN CUANTO A SU ARREGLO.

Una vez seleccionado el sitio, se dispusieron diferentes distribuciones en cuanto a éste, con objeto de encontrar el diseño - óptimo y funcional, para lo cual se plantean ocho alternativas, de las cuales hay infraestructura constante, por el sitio y tamaño del puerto, como son muelles, accesos, servicios, instalaciones en tierra y obras complementarias, variando básicamente los dragados, rellenos y obras exteriores en cada una de las alternativas:

Alternativa No. 1.- Se desarrolla, en la colindancia del puerto actual y como única posibilidad de expansión, la zona marítima; ya que los accidentes topográficos, la infraestructura urbana - y portuaria existente lo limitan. Sin embargo, quedaría integrado al sistema actual, lo que permite aprovecharla como una solución integral.

Por su carácter marítimo, los volúmenes de dragado son pequeños, pero los rellenos y longitudes de rompeolas considerablemente - mayores que las otras alternativas.

Una segunda limitante es, que la zona industrial carecería de - frente marítimo, ya que dada la disposición del puerto, ganando áreas de agua, hace imposible la ubicación de la industria en - esta zona, ya que representaría fuertes gastos en cuanto a re-

lleno. La zona industrial, en este caso, estaría ubicada --- próxima al desarrollo urbano de Salina Cruz, ocupándose terre nos, que probablemente ya estarían destinados para algún otro uso, además de congestionarse la ya saturada red de vialidad de la población con la incursión de nuevos vehículos automotores, así como por el paso del ferrocarril.

Alternativa No. 2.- Tiene su desarrollo al Poniente y Suroeste del puerto actual, maneándose en forma independiente el - puerto petrolero y el puerto industrial y comercial, tanto en su construcción como en su operación.

Teniéndose como eje de partida, el espigón de Cola de Pato. - Al Oriente de éste, y ganándole terrenos al mar, se ubica el - puerto petrolero, lo cuál representa una ventaja ya que los - buques petroleros requieren gran calado; mientras que al Poniente se encuentra el puerto comercial y ya dentro de la laguna del Marqués se tiene el desarrollo del puerto industrial, contándose en este sitio con terrenos para futuros desarrollos - industriales.

En cuanto a volumen de dragados se refiere, resulta ser la al ternativa más económica de las estudiadas; debido a que se -- trabaja en áreas ganadas al mar, donde se cuenta con suficientes profundidades para el tipo de embarcaciones que arribarán. El dragado fuerte se hará en el área destinada al puerto industr

trial, ya que se trabaja en el interior de la laguna, donde - se tienen profundidades de 1.5 Mts.

El hecho de ganar áreas al mar, implica la construcción de -- obras de protección, con gran longitud de desarrollo. Otro - aspecto desfavorable es la interferencia que tiene con la línea de la monoboya de PEMEX, debiéndose suspender una de las - dos actividades a realizar. Por último, el costo del relleno es bajo, debido a que se aprovecha totalmente el volumen del - dragado.

Alternativa No. 3.- La presente alternativa, a semejanza de - la anterior, se desarrolla al Suroeste del Puerto actual, re - presentando un esquema general muy similar, en cuanto a los - arreglos de los puertos petroleros, comercial e industrial. - En este caso, los tres puertos se encuentran comunicados entre sí, presentando un solo canal de acceso, común a los tres.

El costo de los dragados es bajo, no así, el de obras protec - ción, donde tenemos grandes longitudes. En relación a relle - nos, se presentan áreas con mayor superficie que son ganadas - al mar, lo cual se refleja en los costos, ya que los volúmenes por dragar, no son suficientes para cubrir los volúmenes deman - dados por el relleno.

En esta alternativa se cuenta con zonas para futuros desarrollos, a lo largo de la Laguna del Marqués, donde se presentan profundidades medias de 1.5 Mts.

Alternativa No. 4.- Localizada al Poniente del puerto actual, tiene como punta de despegue el espigón de Cola de Pato, siendo todo su desarrollo al Poniente de éste.

El canal de acceso es común para los 3 puertos. Se aprovecha el espigón de Cola de Pato para formar el rompeolas que protegerá al puerto de oleaje oriental y para dar lugar a la construcción de bodegas de tránsito para la terminal de PEMEX, ganándose de esta forma terrenos al mar, no así para el resto de la terminal, la cual en un 90% se localiza en tierra firme. Lo mismo sucede con el puerto industrial y comercial y los cuales en un 70% están ubicados en tierra firme, representando con esto uno de los dragados donde tenemos costos más grandes, además de que las dársenas en su gran mayoría se encuentran en el interior de la Laguna del Marqués.

En cuanto al puerto petrolero, dada su ubicación tan próxima a tierra firme y tomando en cuenta al tipo de embarcación que harán arribos, es necesario realizar grandes dragados. En resumen el factor de mayor peso es esta alternativa, es el de las obras de protección.

Alternativa No. 5.- Representa la posibilidad de manejar el puerto petrolero en forma independiente del puerto industrial y comercial, aunque solo tenga un canal de acceso, común a to dos ellos.

El desarrollo portuario terrestre se encuentra cubriendo una área de 367 hectáreas, ocupando un 50% del total, tierra firme y, el resto, áreas de agua, misma que tendrán que ser rellenas con el material producto del dragado, el cual, por cierto, resulta ser muy superior.

Las dársenas de ciaboga y operación, para el puerto industrial y comercial, están ubicadas en su totalidad en la Laguna del Marqués, por lo cual se tendrán que realizar dragados de una profundidad media de 10.0 Mts. De igual forma sucede con el puerto petrolero, que dada su ubicación es necesario realizar grandes dragados para cubrir las necesidades de los barcos esperados.

En lo que se refiere a obras de protección; esta alternativa resulta tener una longitud de desarrollo menor a las anteriores.

En general, pese a todo lo descrito, resulta ser esta alternativa, la segunda mejor, desde el punto de vista económico.

Alternativa No. 6.- Tiene su desarrollo, completamente en el-

interior de la laguna del Marqués, al Poniente de Salina Cruz.

La disposición de esta alternativa, obliga a efectuar fuertes dragados, ya que además de tener al puerto industrial y comercial en la laguna, se tiene al puerto petrolero, el cual; dado el tipo de embarcaciones que recibe, obliga a realizar grandes dragados, aún mayores que las otras alternativas, pero por su ubicación, la longitud de desarrollo de las obras de protección es la más corta, y por lo tanto, la más económica.

El canal de acceso, es común a los tres puertos.

Con relación a rellenos, al trabajar completamente en el lado de tierra, los volúmenes necesarios resultan ser menores a los volúmenes de dragados, lo que implica un problema en el tiro y desperdicios.

A semejanza de todas las alternativas ya analizadas, la disposición que se ha dado al puerto industrial, permite tener desarrollo futuros al Poniente de esa zona.

Alternativa No. 7.- Es muy semejante a la Alternativa No. 2, - en cuanto a su disposición e independencia de los puertos industrial y comercial y el puerto petrolero, teniéndose únicamente como variable la ubicación de la Laguna del Marqués en su totalidad, evitándose con ésto, el trabajar en áreas ganadas al --

mar, y por consecuencia la construcción de grandes longitudes de obras de protección, así como el tener que realizar grandes rellenos en el área.

Nuevamente, teniéndose como eje de partida, el espigón de Cola de Pato; al Oriente se ubicará el puerto Petrolero, el cual de acuerdo a su disposición, requiere rellenos en el frente paralelo a la costa, y ganar áreas para ubicar la terminal petrolera e instalación de equipo.

Al Poniente de espigón de Cola de Pato, se ubica el puerto industrial y comercial, ocupando 400 hectáreas, tanto de la Laguna del Marqués, donde se ha ubicado un alto porcentaje de las áreas de agua, como zonas circunvecinas a ésta, además contándose con amplias zonas al Poniente para futuros desarrollados industriales, sin interferir con el plan de desarrollo urbano de Salina Cruz.

Será necesario realizar grandes dragados para satisfacer las necesidades del puerto. Se tiene un volumen más que suficiente para realizar los trabajos de relleno, mismos que resultan ser los de menor costo, comparado con las alternativas ya evaluadas.

Las obras de protección son de bajo costo, debido a que el puerto industrial y comercial se encuentra en el interior de la laguna, bastando construir un par de rompeolas, las cuales faci

litarán el acceso al puerto y dada la cercanía a la costa, de la profundidad necesaria, su longitud resulta corta. Para el puerto petrolero las longitudes son ligeramente mayores.

Finalmente, el arreglo de los componentes de puerto industrial y comercial, tendrán las siguientes características, mostradas en el plano P.1.3.

Alternativa No. 8.- Tiene su desarrollo industrial y comercial en el interior de la laguna, mientras que el puerto petrolero se encuentra en áreas ganadas al mar.

La disposición de esta alternativa dá como resultado la construcción de obras de protección de bastante longitud, ya que se llevan desde la profundidad - 24 Mts., hasta el cordón litoral que separa el océano con la Laguna del Marqués, para de esta forma dar lugar al canal de navegación para las embarcaciones que operan en el puerto industrial y comercial.

Apoyándose del espigón de Cola de Pato, se propone el rompeolas E y de esta forma tener tanta área de ciaboga como de operación, para el puerto petrolero.

El relleno se hará con el volumen de dragado del puerto industrial y comercial. En general, esta alternativa resulta ser muy costosa, sobre todo por la obra de protección a construir.

Una vez analizadas las ocho alternativas se procede a evaluar cada una de ellas, con los parámetros anteriormente mencionados (dragados, rellenos y obras de protección), como se --- muestra en la tabla 1.3.

Así pues, observamos que la alternativa No. 7 resulta ser la más adecuada en cuanto a la cuestión económica se refiere, pero además ofrece grandes ventajas en cuanto al manejo independiente de los puertos petrolero, industrial y comercial.

Definiéndose ésta como la alternativa elegida, en los estudios posteriores sólo nos referiremos ya a esta zona.

TABLA 1.2.- SELECCION DE ALTERNATIVAS EN CUANTO A SU ARREGLO: RESUMEN.

ALTERNATIVAS	DRAGADOS	RELLENOS	OBRAS DE PROTECCION	TOTAL
1	148'969,002.40	751'170,997.60	1,710'000,000.00	2,610'140,000.00
2	689'188,020.00	103'227,000.00	1,320'000,000.00	2,172'415,000.00
3	690'234,113.20	205'420,886.80	1,410'000,000.00	2,305'655,000.00
4	782'480,846.40	149'065,000.00	1,365'000,000.00	2,296'525,846.40
5	774'540,443.60	156'490,750.00	885'000,000.00	1,816'031,194.00
6	1,330'846,694.50	168'865,500.00	600'000,000.00	2,099'712,194.50
* 7	779'055,892.00	111'004,250.00	765'000,000.00	1,665'060,142.00
8	813'747,735.20	148'304,000.00	1,140'000,000.00	2,102'051,735.20

* ALTERNATIVA MAS ECONOMICA.

CAPITULO II

CARACTERISTICAS METEREOLÓGICAS Y OCEANOGRÁFICAS.

De los renglones más importantes en estudios para proyectos de obras marítimas se encuentra el de las características meteorológicas y oceanográficas que determinan el dimensionamiento de las estructuras marítimas para que cumplan con los objetivos para los cuales fueron diseñadas.

El presente capítulo está enfocado a definir aquellas características y parámetros que permitan proyectar adecuadamente las obras exteriores, analizando exhaustivamente las distintas fuentes, midiendo en el sitio y procesando todos estos resultados.

Como fenómenos más importantes a estudiar para el diseño de estas obras están: vientos, oleaje, corrientes y mareas, los cuales se describen en los subcapítulos posteriores.

Toda la información obtenida se recopiló de una estación oceanográfica y meteorológica ubicada en la zona de estudio.

II. 1 VIENTOS.

Se denomina viento al desplazamiento de las masas aéreas, midiéndose generalmente su componente horizontal. Los movimientos verticales del aire tienen gran importancia en la formación de nubes y tormentas eléctricas, precipitaciones etc.

Su magnitud es bastante inferior con respecto a los movimientos horizontales.

La causa inicial del viento es la diferencia de la temperatura del aire, la que a su vez, engendra la diferencia de presiones y por último, el viento.

Por su importancia, los vientos que tienen influencia en el diseño de obras portuarias son: vientos ciclónicos tropicales; son los que generan las olas más peligrosas para la estructura portuaria. Vientos permanentes o vientos oceánicos, que generan el oleaje reinante, que son la base del estudio del régimen de la costa. Vientos locales, que tienen influencia en el diseño portuario para la orientación de muelles, transporte eólico y maniobras de los buques; su influencia sobre el oleaje es prácticamente nula.

Dentro de este estudio más interesa saber la dirección, la cual se indica por la dirección de donde provienen, y para ello se hace uso de las llamadas rosas de los vientos que pueden referirse a 8, 16, ó 32 direcciones

En cuanto a la velocidad de los vientos se registra con algún instrumento como anemómetro o anemocinémógrafo, en m/seg ; nudos, etc.

II.1.1 VIENTOS LOCALES.

Las observaciones del viento referidas a los 8, 16, ó 32 direcciones establecidas, pueden representarse por medio de diagramas. El método generalmente usado consiste en representar vectorialmente a las frecuencias del viento en direcciones anotadas, durante un lapso determinado y unidos por los extremos formando así una gráfica de frecuencia de vientos "n" que permiten obtener el viento reinante o sea aquel que se presenta con mayor frecuencia durante el tiempo considerado, independientemente de su velocidad. Como la acción del viento no depende solamente de su frecuencia, sino también de su velocidad, se usa un diagrama similar al precedente en el cual los segmentos vectoriales representan la acción del viento y son proporcionales al procedimiento de la frecuencia por la velocidad media, o sea nv ; se denomina diagrama de Lenz. Viento dominante es aquel que se presenta con máxima intensidad media independiente de su frecuencia.

Las consideraciones anteriores no implican que el viento de máxima frecuencia (reinante) no pueda, en algún caso, ser a su vez reinante y dominante.

Para poder definir los vientos mencionados es menester contar con observaciones que variarán de un año, para tener ideas generales, a 10 o más

a fin de que los valores medios obtenidos tengan valor estadístico.

Este tipo de vientos tiene importancia puramente local y son de gran utilidad para el diseño de los muelles, maniobras de los buques y en general para el diseño de obras marítimas.

II.1.2 RECOPILACION DE DATOS.

Aunque en la zona exista una estación meteorológica, los datos reportados en ella tienen poca validez, y que no se cuenta con un anemómetro que establezca con precisión la magnitud y dirección de los vientos detectándose éstos en base a los patrones de Beufort y la apreciación del observador. Se recopiló información que data de 54 años (1917 - 1971) agrupada en sectores de 30° en rango de cuatro nudos, cuyos valores se representan en las tablas 2.1.2.1 al 2.1.2.5 clasificándose en horas de acción, en cada uno de los trimestres del año, y un resumen anual, observándose una dominancia de los vientos provenientes del norte, noroeste y noreste.

TABLA 2.1.2.1

PUERTO INDUSTRIAL DE SALINA CRUZ

FRECUENCIA EN HORAS DE VELOCIDAD DEL VIENTO (NUDOS)

DIRECCION PARA SECTORES DE 30°

Trimestre: Enero, Febrero y Marzo. (Unidades en Horas de acción).

VELOC. (NUDOS)	CALM.	35 - 01	02 - 04	05 - 07	08 - 10	11 - 13	14 - 16	17 - 19	20 - 22	23 - 25	26 - 28	29 - 31	32 - 34	TOTAL
0- 4	245.5	49.7	21.8	26.8	14.9	20.6	17.1	19.6	15.5	30.1	48.9	45.3	37.1	593.1
5- 9	0	76.2	69.2	55.2	15.2	16.7	14.8	16.1	27.9	50.6	76.6	74.5	57.6	551.7
10- 14	0	53.2	64.2	49.1	14.7	2.2	3.6	2.2	8.6	14.6	15.9	26.1	39.0	291.5
15- 19	0	49.8	79.8	51.5	5.7	0.7	0	0	2.1	1.4	8.7	5.1	13.0	216.6
20- 24	0	35.6	89.6	45.1	2.2	0	1.4	0	1.5	0	1.5	2.9	13.8	192.4
25- 29	0	30.9	36.4	21.3	1.4	0	0	0	0	0	0	0	3.7	54.0
30- 39	0	50.2	88.4	35.6	0	0	0	0	0	0	1.4	1.5	5.1	182.4
40- 49	0	18.2	25.6	6.6	0.7	0	0	0	0	0	0	1.5	1.5	54.0
50- 59	0	3.7	3.7	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.2
60- 69	0	0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7
70- 79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80- 89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90- 99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	24.5	367.8	479.6	293.7	53.6	38.7	34.8	37.9	55.4	96.4	154.3	155.5	170.1	2184

TAULA 2.1.2.2

PUERTO INDUSTRIAL DE SALINA CRUZ

FRECUENCIA EN HORAS DE VELOCIDAD DEL VIENTO (NUDOS)

DIRECCION PARA SECTORES DE 30°

Trimestre: Abril, Mayo y Junio.

(Unidades en Horas de Acción)

VELOC. (NUDOS)	CALM.	35 - 01	02 - 04	05 - 07	08 - 10	11 - 13	14 - 16	17 - 19	20 - 22	23 - 25	26 - 28	29 - 31	32 - 34	TOTAL
0- 4	284.7	27.7	16.7	20.4	26.9	19.6	22.8	25.4	29.9	29.1	68.5	46.8	26.1	643.1
5- 9	0	59.0	44.3	74.2	45.8	61.1	45.2	38.6	47.2	76.3	112.1	90.2	56.8	751.0
10- 14	0	32.0	37.3	46.6	34.2	24.7	17.5	15.9	13.9	35.9	66.8	33.5	25.6	378.7
15- 19	0	27.8	32.0	34.9	11.0	6.5	7.2	6.5	2.9	10.2	16.6	17.4	9.4	184
20- 24	0	27.6	28.6	19.7	7.2	6.5	2.9	1.4	2.9	3.6	5.0	1.4	2.2	111.3
25- 29	0	11.0	21.8	14.0	2.1	0.7	0.7	0.7	2.1	0.7	1.4	0.7	0.7	59.3
30- 39	0	14.7	23.4	3.6	2.9	0.7	0.7	0	1.4	0.7	0.7	0.7	0.7	49.6
40- 49	0	2.2	0.7	0.7	0	0	0.7	0	0	0	0	0	0	5.1
50- 59	0	0	0	0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7
60- 69	0	0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7
70- 79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80- 89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90- 99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	284.7	202.8	204.5	216.8	130.7	117.2	98.4	87.9	100.5	157.2	271.2	191.5	122.9	2184

TABLA 2.1:2.3
PUERTO INDUSTRIAL DE SALINA CRUZ

FRECUENCIA EN HORAS DE VELOCIDAD DEL VIENTO (NUDOS)
DIRECCION PARA SECTORES DE 30°

VELOC. (NUDOS)	Trimestre: Julio, Agosto y Septiembre.														TOTAL
	CALM.	35 - 01	02 - 04	05 - 07	08 - 10	11 - 13	14 - 16	17 - 19	20 - 22	23 - 25	26 - 28	29 - 31	32 - 34		
0- 4	173.6	27.2	19.1	36.9	24.3	29.3	21.1	18.5	4.4	15.4	26.5	23.5	15.5	435.6	
5- 9	0	72.9	66.4	115.7	101.1	70.1	52.2	26.4	26.3	37.4	42.4	53.7	75.1	742.	
10- 14	0	51.7	70.9	102.5	80.9	49.4	29.5	15.5	20.4	21.2	23.4	30.8	50.1	545	
15- 19	0	36.1	58.2	59.8	33.2	22.1	15.6	3.6	7.9	10.8	10.8	11.6	19.8	293.6	
20- 24	0	22.1	27.1	33.7	18.5	5.1	2.1	2.1	1.4	3.6	4.4	5.1	5.7	132.3	
25- 29	0	8.1	10.3	5.9	2.9	2.2	0	0.7	0.7	4.3	0.7	2.1	-2.2	41.2	
30- 39	0	5.9	8.1	0	0	0	0	0	0	0	0.7	0	0.7	16.9	
40- 49	0	0	0.7	0	0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	1.4	
50- 59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
60- 69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
70- 79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
80- 89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
90- 99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TOTAL	173.6	222.7	259.5	354.6	261.6	178.4	120.5	69.2	65.2	94.4	110.5	127.6	169.6	2209	

TABLA 2.1.2.4

PUERTO INDUSTRIAL DE SALINA CRUZ

FRECUENCIA EN HORAS DE VELOCIDAD DEL VIENTO (MUDOS)

DIRECCION PARA SECTORES DE 30°

Trimestre: Octubre, Noviembre y Diciembre.

(Unidades en Horas de Acción)

VELOC. (MUDOS)	CALM.	35 01	02 04	05 07	08 10	11 13	14 16	17 19	20 22	23 25	26 28	29 31	32 34	TOTAL
0- 4	182.4	43.3	21.5	33.1	19.2	13.9	13.4	8.9	10.2	12.6	16.8	19.1	44.8	439.4
5- 9	0	74.2	65.5	71.5	29.1	22.1	26.3	17.1	17.8	20.5	34.3	30.9	47.9	459.2
10- 14	0	50.7	59.6	61.8	21.4	21.4	5.9	2.9	7.4	11.1	11.9	11.8	29.6	282.1
15- 19	0	67.8	94.8	63.4	14.8	2.9	1.4	2.2	5.1	5.2	8.2	11.1	24.6	305.7
20- 24	0	66.9	124.9	58.7	5.9	1.4	0	0.7	2.2	3.0	2.9	2.9	11.1	282.5
25- 29	0	41.1	53.4	23.5	4.4	0	0	0	2.2	0.7	0.7	0	10.2	136.4
30- 39	0	74.4	110.0	48.4	1.4	0.7	0	0.7	1.4	0	0	0.7	9.4	249.7
40- 49	0	11.8	25.8	5.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44.3
50- 59	0	2.2	5.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.7
60- 69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
70- 79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80- 89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90- 99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	182.4	436.2	561.0	365.0	98.2	49.5	48.9	33.3	46.3	53.1	78.4	77.4	178.8	2208

TABLA 2.1.2.5

PUEBLO INDUSTRIAL DE SALINA CRUZ

FRECUENCIA EN HORAS DE VELOCIDAD DEL VIENTO (NUDOS)

DIRECCION PARA SECTORES DE 30°

VELOC. (NUDOS)	Anual.													TOTAL
	CALM.	35 - 01	02 - 04	05 - 07	08 - 10	11 - 13	14 - 16	17 - 19	20 - 22	23 - 25	26 - 28	29 - 31	32 - 34	
0- 4	886.2	147.9	79.1	117.2	85.3	83.4	74.4	72.4	60.0	87.2	160.7	134.7	123.5	2111.2
5- 9	0	282.3	245.5	316.6	191.3	170.0	138.5	98.2	119.2	184.8	267.4	249.3	237.4	2503.9
10- 14	0	187.6	232.0	260.0	151.2	82.2	57.2	36.5	50.3	82.8	118.0	102.2	144.0	1497.6
15- 19	0	181.5	264.8	209.6	64.7	32.2	24.2	12.3	18.0	27.6	44.3	45.2	66.5	999.9
20- 24	0	152.2	270.2	157.2	33.8	13.0	6.4	4.2	8.0	10.2	13.8	12.3	32.8	718.5
25- 29	0	91.1	121.9	64.7	10.8	2.9	0.7	1.4	5.0	5.7	2.8	2.8	16.8	331.3
30- 39	0	145.2	229.9	87.6	4.3	1.4	0.7	0.7	2.8	0.7	2.8	2.9	15.9	498.6
40- 49	0	32.2	52.8	12.4	1.4	0	0.7	0	0	0	0	1.5	1.5	104.8
50- 59	0	5.9	8.8	2.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16.6
60- 69	0	1.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.4
70- 79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80- 89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90- 99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	886.2	1229.5	1504.6	1230.1	548.4	383.8	302.6	228.3	267.4	401.1	614.4	552.0	641.1	8784

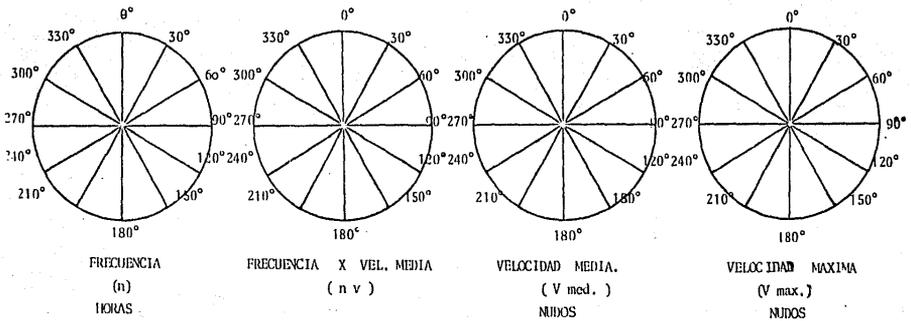
II.1.3 RESULTADOS Y DIAGRAMAS DE LENZ.

De acuerdo a los resúmenes trimestrales y anuales que se presentan en las tablas anteriores y que corresponden respectivamente a las estaciones Invierno, Primavera, Verano y Otoño, puede observarse una denominancia de los vientos en dirección del NW al NE en un 65% del tiempo, siendo la más importante del N y NNE en cuanto a la frecuencia y a la magnitud se refiere, y con velocidad máxima en la dirección N con una magnitud de 60 a 69 nudos.

A partir de los resultados anteriores, se obtiene los diagramas de Lenz, en forma estacional y anual elaborando en cada caso un diagrama de frecuencia (N), el producto frecuencia - velocidad - (NXV), el de velocidad media (V. med.) y el de velocidad máxima, que se muestran en la figura 2.1.2.10 2.1.2.5 de los que se observa una denominancia en la dirección NNE correspondiéndole una velocidad media de 19.38 nudos.

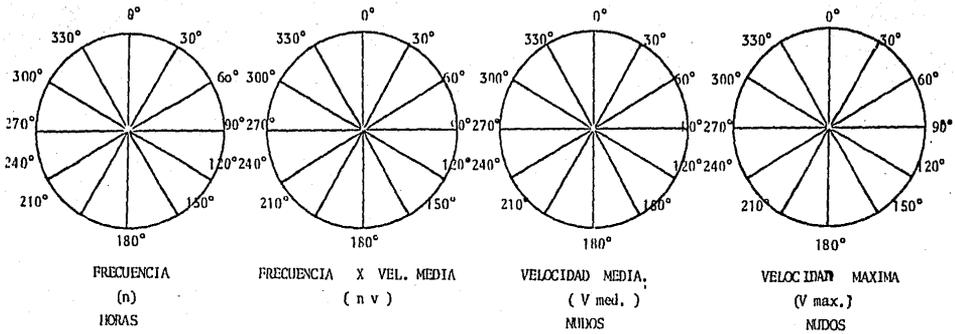
DIAGRAMAS DE WENZ, TABLA 2.1.2.

MEDIO (BASE DE VIGAS).



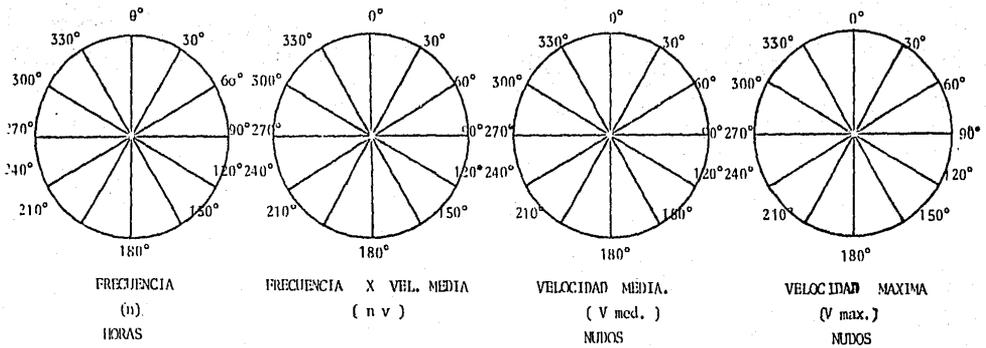
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
n	222.7	250.5	354.6	261.6	178.4	120.5	69.2	65.2	94.4	110.5	127.6	169.3
n V	2707.3	3528.2	4031.0	2807.3	1689.4	1073.0	534.1	621.7	925.9	954.1	1158.6	1703.5
V med.	12.16	13.60	11.37	10.73	9.47	8.90	7.72	9.54	9.81	8.63	9.08	10.06
V max	84.5	44.5	24.0	44.5	27.0	22.0	27.0	27.0	27.0	34.5	27.0	34.5

DIAGRAMAS DE LENZ. TABLA 2.1.3
 TERCER TRIMESTRE OTONO



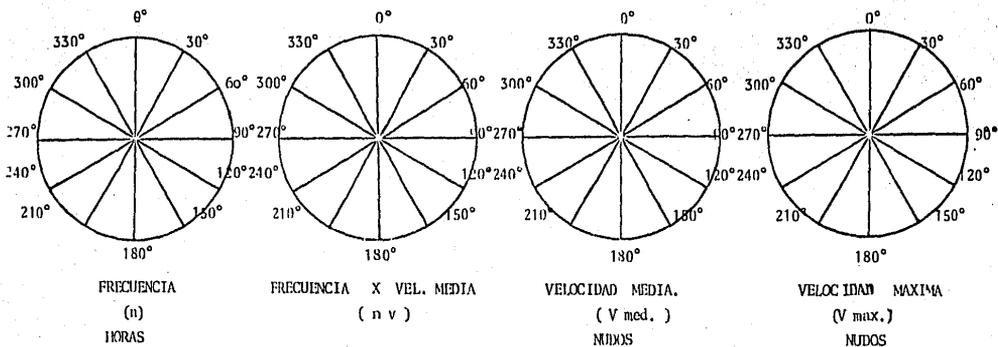
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
n	436.2	561.0	365.0	98.2	49.5	48.9	33.3	46.2	53.1	78.4	77.4	178.1
n v	8280.2	12239.7	6208.0	1048.8	357.6	313.9	249.3	476.6	475.2	638.6	672.8	2033.5
V med.	18.98	21.82	17.01	10.68	7.22	6.42	7.48	10.29	8.95	8.15	8.69	11.37
V max.	54.5	54.5	44.5	34.5	34.5	17.0	34.5	34.5	27.0	27.0	34.5	34.5

DIAGRAMAS DE LENZ. TAMA 2.1.4
(GRUPO TRIPESQUE INTERNO).



	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
n	367,8	479,6	293,7	53,6	38,7	34,8	37,9	55,4	96,4	154,3	155,5	170,1
n v	6523,9	9999,7	5075,7	526,9	196,4	211,8	178,3	398,2	613,4	1068,0	1194,4	1812,7
V med.	17,4	20,85	17,28	9,83	5,07	6,09	4,70	7,19	6,36	6,92	7,68	10,66
V max	64,5	54,5	54,5	44,5	17,0	22,0	12,0	22,0	17,0	34,5	44,5	44,5

DIAGRAMAS DE LENZ . TABLA 2.1.5.
ANUAL .



	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
n	1229,5	1504,6	1230,1	548,6	383,8	302,6	228,3	267,4	401,1	614,4	552,0	641,1
n V	20270,9	29158,8	18033,0	5669,9	3303,2	2431,2	1633,7	2271,6	3333,3	4838,1	4522,4	6557,9
V med.	16,40	19,38	14,66	10,34	8,61	8,03	7,16	8,50	8,31	7,87	8,19	10,23
V max	64,5	54,5	54,5	44,5	34,5	44,5	34,5	34,5	34,5	34,5	44,5	44,5

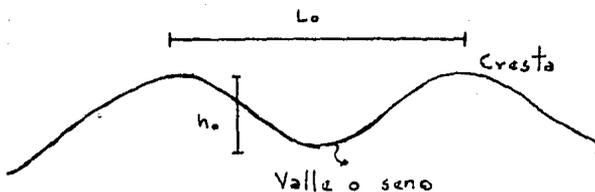
II.2 OLEAJE.

El estudio de los movimientos en el mar se inicia a finales del Siglo -- XVIII y principios del XIX, cuando una serie de notables investigadores sustentan varias teorías acerca de la forma y relación de las características del oleaje.

Newton y Laplace fueron los iniciadores de estos estudios, sin embargo se considera a Franz Von Gertsner (1802), el primero en dar un estudio teórico bastante cercano a la realidad, pues consideró una masa líquida de profundidad infinita, que no es sino un caso particular de las ecuaciones generales para una profundidad cualquiera.

Para comprender las olas oceánicas, cómo se forman y cómo viajan es hasta el momento actual incompleta, debido en primer lugar, a que las observaciones en el mar presentan grandes dificultades para determinar sus características. En segundo lugar a que las teorías de que se hace uso están basadas en la hidrodinámica clásica que las supone en un fluido ideal.

Existen diferentes tipos de olas, diferenciándose unas de otras por su origen. Las características generales de las olas son:



donde:

L_o = Longitud de ola; es la distancia entre dos crestas consecutivas.

H_o = Altura de ola; es la distancia medida sobre una vertical entre la cresta y el valle siguiente.

T_o = Período de la ola; es el tiempo que tarda la ola en recorrer la distancia.

C_o = Celeridad de la ola; es la velocidad de traslación de la onda

$$C_o = \frac{L_o}{T_o}$$

Para el estudio del oleaje en aguas profundas, fue la teoría trocoidal la primera en desarrollarse. Esta teoría pretende representar el perfil actual de la ola, así como satisfacer las condiciones de presión en la superficie y las condiciones de continuidad.

Como conclusiones de la teoría trocoidal se tienen las siguientes relaciones:

$$L_o = \frac{g}{2} T_o^2$$

L_o es proporcional al cuadrado del período.

$$L_o = C_o T_o \quad T_o = \frac{2}{\frac{g}{2}} L_o$$

$$C_o = \frac{\frac{g}{2} L_o}{2}$$

Si se llama u la velocidad orbitaria de las partículas de un círculo de radio r , se tiene:

$$\frac{u}{c} = \frac{2 r}{L} \quad 2 r = H_0$$

$$M = C_0 \frac{H_0}{L_0}$$

El desarrollo de la teoría de la generación de las olas oscilatorias progresivas por la acción del viento y la teoría básica de tal movimiento, han hecho posible formular un concepto racional de la energía contenida en la ola en cualquier momento. Se ha demostrado que la energía total disponible está dada por:

$$E = - P \rho L_0 H_0^2 \left(1 - M \frac{H_0^2}{L_0^2} \right)$$

donde ρ es la densidad del agua

$$M = \frac{2}{2 \tan H^2 \left(\frac{2 d}{L} \right)} \quad \text{Coeficiente de energía.}$$

De la energía total de la ola, la mitad corresponde a energía potencial y la otra mitad a energía cinética

II.2.1 GENERALIDADES.

Acercas del proyecto de un rompeolas, la complejidad del fenómeno obliga a realizar algunas hipótesis simplificativas, donde el buen juicio del proyectista, apoyado en el conocimiento que tenga del lugar, desempeñará un papel fundamental.

La información sobre las características del oleaje en un sitio determinado puede dividirse en:

- Régimen del oleaje normal
- Régimen del oleaje extraordinario

El primero es el que ocurre estacionalmente y se repite cíclicamente sin grandes variaciones. Este tipo de oleaje tiene especial significación - cuando analizan los cambios que se operan estacionalmente en los litorales y de esos cambios puede derivarse el efecto que produzcan las nuevas obras sobre el régimen de la costa.

Igualmente importante es este oleaje para la disposición de las obras de protección asociada a la forma y tiempo útil de operación del puerto.

El régimen normal de oleaje queda definido básicamente por:

- Incidencia mensual, estacional y anual, en tiempo y porcentaje.
- Distribución de alturas y períodos de oleaje, mensual, estacionario y anual.

El manejo de esta información presenta dos problemas: la elección de alturas y períodos representativos y la claridad de la información.

En cuanto a lo primero, es criterio normalmente establecido el utilizar el concepto del oleaje significante, encontrándose que en términos de tiempo el lapso más adecuado parece ser el estacional; así entonces se

tendrán cuatro valores de altura y período; uno por estación, según cada una de las distintas direcciones involucradas en esos lapsos estacionales.

En general, el uso de la información sobre régimen de oleaje presenta un problema importante, que es el que se refiere a la interpretación que se le puede dar al porcentaje de tiempo que se excede mensual, estacional o anualmente, un cierto valor límite de altura de ola que pudiera ocasionar dificultades en la operación del puerto.

Así, por ejemplo, puede presentarse a falsas interpretaciones, es decir; el 10% del tiempo de acción anual de la dirección norte del valor de 1.50 m en la altura de la ola. Si no se asocia ese 10% a términos reales de tiempo y consecuencia, cayendo en errores que minimicen o maximicen el problema. Esto es, ese 10% anual puede ocurrir en un lapso corto concentrado, lo cual sería desfavorable o, presentarse esporádicamente a lo largo del año, dado, por el contrario, condiciones favorables.

Otro problema importante se refiere al origen y calidad de la información.

Por su origen esta puede ser:

- Estadística, recopilada por organizaciones tales como la U.S. Navy Hydrographic Office o el Almirantazgo del Reino Unido, la cual se da para zonas oceánicas que cubren extensiones de 5° de latitud por 5° de longitud.

- Estadística específica, derivada de observaciones en zonas vecinas al

área en estudio, complementada con deducciones a partir de datos de vientos y otros factores meteorológicos.

- Por medición directa.

La primera, si bien es confiable, tiene hasta cierto punto el inconveniente de no permitir análisis muy exactos sobre distribución en el tiempo de valores que excedan en cierto rango. Igualmente, pueden ofrecer cierta distorsión al hacerse la adecuación de la información del área oceánica, a la especificación del estudio sobre la costa.

La segunda, permite un mejor manejo de las variables estadísticas que facilitan la integración de una imagen más real del oleaje.

Sin embargo este procedimiento depende en mucho de la calidad y cantidad de las observaciones meteorológicas, así como de la experiencia de quien las interprete y transforme a condiciones de oleaje.

La tercera, es mas deseable, pero tiene el inconveniente de que su grado de confiabilidad dependen del tiempo y continuidad en la observación. - Teóricamente, un año sería el mínimo aceptable, aunque preliminarmente podrían aceptarse lapsos menores, correlacionándolos con cualquiera de los sistemas anteriores, preferentemente el segundo, aunque supeditado es to también a la calidad de estas deducciones.

Régimen de oleaje extraordinario.

Este oleaje, es el producido por las tormentas que pueden ocurrir en el

sitio o en áreas vecinas y que de alguna manera las olas generadas por esa tormenta pueden incidir en el lugar considerado. Esta información, es fundamental para el diseño estructural de rompeolas y muro y es, por otra parte, la que presenta mayor dificultad para seleccionar la altura de diseño, ya que, como es de suponerse, no es sólo el hecho de elegir la ola representativa de una tormenta dada, sino, también el contenido energético de la tormenta asociada y de la distribución de tal energía.

De hecho, como se trabaja sobre extrapolaciones estadísticas, deberá manejarse más bien, el concepto de la tormenta de diseño, no obstante que puede lograrse una buena aproximación usando exclusivamente una ola representativa. Aunado a lo anterior, juega un papel muy importante el período de retorno de la tormenta, asociada a una ola dada y así estableciendo las características del oleaje para tormentas de diversos períodos de retorno puede definirse el régimen de oleajes extraordinarios.

El régimen de oleajes extraordinarios proporciona la probabilidad de excedencia de una tormenta de intensidad dada. Igualmente indica el lapso medio de ocurrencia (período de retorno) entre la presentación de dos tormentas cuyas intensidades excedan una dada. Cabe señalar también la importancia que tiene la selección del período de retorno ya que este influirá en forma preponderante sobre el costo total de la obra.

La determinación del régimen de oleajes extraordinarios se hace siguiendo métodos estadísticos a partir de datos reales, los cuales, a su vez, pueden tener su origen en:

- Observaciones en el sitio o en áreas vecinas, adecuándolas al sitio en estudio.
- Deducciones a partir de datos meteorológicos de las tormentas en cuestion.

El primer caso es el más deseable pero el menos frecuente, en tanto que el segundo es el más usual.

II.2.2. REGIMEN DE OLEAJE.

La elaboración del régimen de oleaje para un puerto o zona de previsión se puede realizar a partir de observaciones visuales puntuales recogidas en campaña directa o recopiladas en publicaciones especiales o bien a partir de registrar directo el oleaje. De que el régimen de oleaje sea direccional, y no usualmente escalar, depende de que el método de registro sea capaz de discriminar direcciones.

- Método de las cartas de "Sea and Swell". Este método está basado en las observaciones del estado del mar realizado por barcos de líneas regulares y pertenecientes a la marina de guerra.

En la gran mayoría de las cartas, el registro del oleaje se halla diferenciado en dos tipos, SEA y SWELL, presentándose el resumen de observaciones por meses y zonas y dentro de cada zona por una rosa de oleaje. Cada rosa consta de ocho direcciones representándose para cada una de ellas la distribución de alturas observadas reducida al mes medio. La distribución de

alturas se hace partiendo de intervalos (por ejemplo: 1 pie, 1 -3 pies y 3-5 pies, 8-12 pies y 12 pies) asimilando a cada intervalo un porcentaje que indica el tiempo para cada mes en el cual se presenta un oleaje (SEA o SWELL) cuya altura de la ola significativa está incluida en el intervalo y cuya dirección es representada por la flecha correspondiente.

Utilizando este método para el estudio del oleaje en el puerto industrial de Salina Cruz de tal forma que: la información se presenta en rosas de oleaje agrupadas las incidencias en sectores de 45°, en rangos de altura de olas convencionales clasificado en oleaje local (SEA) y oleaje distante -- (SWELL) en forma mensual. La agrupación de estos datos en horas de acción al año se presentan en las tablas 2.2.1.1 y 2.2.2.2., obtuvimos los siguientes resultados: el 61.5% del tiempo se tienen entre indeterminaciones, calma y otras direcciones que no pueden incidir en la costa de Salina Cruz, el 20.5% de oleaje en direcciones SW y W; el 6% del tiempo, en oleaje proveniente de la dirección S y el 12% del tiempo, oleaje en las direcciones SE y E en rangos de altura muy amplia para un cuadrante muy extenso, que no tiene agrupados los periodos en los que se deja esta información un alto grado de incertidumbre.

TABLA 2.2.2.1

ANALISIS ESTADISTICO DE OLEAJE
 PUERTO INDUSTRIAL DE SALINA CRUZ, OAX
 (horas de acción)

Estación	Rango de Altura (m)	DIRECCION						Calmas	Otras
		N	SW	S	SE	E			
Invierno	0.3 - 0.9	164.68	-	-	-	30.95	<u>243.12</u>	<u>508.85</u>	
	0.9 - 2.4	11.85	-	-	-	-			
	2.4	-	-	-	-	-			
Primavera	0.3 - 0.9	191.78	51.49	-	33.82	31.13	<u>226.66</u>	<u>407.95</u>	
	0.9 - 2.4	28.52	-	-	17.18	20.94			
	2.4	-	-	-	2.68	1.61			
Verano	0.3 - 0.9	115.82	61.48	-	118.88	135.42	<u>189.89</u>	<u>325.33</u>	
	0.9 - 2.4	18.68	-	-	-	20.05			
	2.4	1.93	-	-	-	1.25			
Otoño	0.3 - 0.9	144.94	-	-	26.32	93.65	<u>213.61</u>	<u>557.33</u>	
	0.9 - 2.4	14.44	-	-	-	-			
	2.44	0.60	-	-	-	-			
Anual	0.3 - 0.9	617.22	112.97	-	179.02	291.15	<u>873.28</u>	<u>1749.46</u>	
	0.9 - 2.4	73.49	-	-	17.18	40.99			
	2.4	2.53	-	-	2.68	2.68			
							Suma: 4012.83 Hrs.		

Indeterminaciones 953.27 Hrs.

Nota: El oleaje corresponde al clasificado como SEA.

Fuente: Atlas of Sea and Swell Charts.

TAHA 2.2.2.2.

ANALISIS ESTADISTICO DE OLEAJE
 PUERTO INDUSTRIAL DE SALINA CRUZ, OAX.
 (horas de acción)

Estación	Rango de		D I R E C C I O N					Calmas	Otras
	Altura (m)		W	SW	S	SE	E		
Invierno	0.3 - 0.9	139.91	25.13	25.13	-	75.71	<u>286.14</u>	<u>355.71</u>	
	0.9 - 2.4	8.37	-	-	-	-			
	2.4	-	-	-	-	-			
Primavera	0.3 - 0.9	133.98	105.36	129.01	43.46	25.35	<u>202.59</u>	<u>140.69</u>	
	0.9 - 2.4	13.64	21.99	15.83	-	-			
	2.4	4.51	7.82	2.75	-	-			
Verano	0.3 - 0.9	95.90	127.27	200.19	121.62	51.19	<u>134.54</u>	<u>85.02</u>	
	0.9 - 2.4	24.99	44.18	41.10	13.18	-			
	2.4	11.66	14.48	13.76	3.00	-			
Otoño	0.3 - 0.9	100.67	75.94	77.96	97.47	93.91	<u>187.56</u>	<u>364.47</u>	
	0.9 - 2.4	13.80	13.29	12.95	-	-			
	2.4	1.60	5.59	3.53	-	-			
Anual	0.3 - 0.9	470.46	333.70	432.29	262.55	246.55	<u>810.83</u>	<u>945.89</u>	
	0.9 - 2.4	60.80	79.46	69.88	13.18	-			
	2.4	17.77	27.89	20.04	3.00	-			

Suma: 3793.90 Hrs.

Nota: El oleaje corresponde al clasificado como Swell

Fuente: Atlas of Sea and Swell Charts.

II.2.3. RESULTADO DE LOS ANALISIS ESTADISTICOS Y PROBABILISTICOS DE DIFERENTES FUENTES DE PREVISION DE OLAJE.

Para determinar las características de altura y periodo de oleaje y establecer un año estadístico, de oleaje mensual, se recopiló información de diversas fuentes, procesándose las que aparentan mayor veracidad, concluyéndose en las cifras ilustradas en las tablas 2.2.2.3 y 2.2.2.4 que respectivamente corresponden a la distribución de frecuencia de alturas máximas de la ola son de 4 a 5.5. m y provienen de la dirección sur; las frecuencias de incidencia del oleaje que provienen del E y SE es el 33%; del sur 28% y el 39% restante del W y SW.

En cuanto al análisis probabilístico las alturas de ola, se calcularon a partir de la distribución de Rayleigh con resultados ilustrados en la tabla 2.2.5 de la que se podría concluir como resultado significativo el correspondiente a un periodo de retorno de 50 años que tiene una altura de ola máxima de 6.60 y considerando un grupo de 100 olas, una altura de ola significativa de 4.34 m. En base al registro y procesamiento de datos con que se cuenta a la fecha de la estación oceanográfica, la máxima altura de ola registrada es de 2.40 m y periodos muy variables hasta de 24 seg.

TABLA 2.2.2.3
 PUERTO INDUSTRIAL DE SALINA CRUZ, OAX.
 DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS ANUALES DE
 ALTURAS DEL OLAJE.

Frecuencia en %

DIRECCION	A L T U R A D E O L A					Total
	1	1-1,5	2-2,5	3-3,5	4-5,5	
E	5,84	9,33	0,28	0,14	0,10	15,69
SE	7,06	8,78	1,23	0,16	-	17,23
S	8,63	15,57	2,90	0,44	0,12	27,66
SW	16,56	2,42	0,33	0,26	-	19,85
W	19,80	0,05	-	-	-	39,42
Total	57,89	36,15	4,74	1,00	0,22	100,00

TABLA 2.2.2.4

PUERTO INDUSTRIAL DE SALINA CRUZ, OAX.
 DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS ANUALES DE
 PERIODOS DE OLEAJE
 Frecuencia en %

DIRECCION	PERIODO DE LA OLA (SEGUNDO)							Total
	7-8	9-10	11-12	13-14	15-16	17-18	19-20	
E	-	1.57	4.70	3.14	4.71	1.57	-	15.69
SE	0.50	1.25	2.37	6.49	5.74	0.76	0.12	17.23
S	1.52	1.89	3.28	12.25	7.20	1.01	0.51	27.66
SW	0.57	5.76	0.57	9.79	2.88	-	-	19.57
W	-	-	-	19.85	-	-	-	19.85
Total	2.59	10.47	10.92	51.52	20.53	3.34	0.63	100.00

TABLA 2.2.5.

PUERTO INDUSTRIAL DE SALINA CRUZ, OAXACA.

ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DEL OLEAJE.

ALTURAS DE OLA SIGNIFICANTE EN METROS.
PARA DISTINTOS TIEMPOS DE TORMENTA.

T_r (años)	H max. (m)	N = 100 olas 0,5 hora	N = 500 olas 2 horas	N = 1000 olas 4 horas	N = 3000 olas 12 horas
1	5.73	3.77	3.25	3.08	2.87
10	6.26	4.12	3.56	3.37	3.13
20	6.40	4.21	3.64	3.44	3.20
50	6.60	4.34	3.75	3.55	3.30
100	6.73	4.43	3.82	3.62	3.37
500	7.05	4.63	4.01	3.79	3.52
1000	7.18	4.72	4.08	3.86	3.59

II.3 CORRIENTES.

II.3.1 CLASIFICACION.

Las corrientes son movimientos, generalmente no periodicos, de masas de - aguas del mar. Estos movimientos pueden tener lugar en distintas capas a diferentes profundidades; o bien entre ellas.

Como agentes generadores de las corrientes se pueden considerar: la acción del viento sobre la superficie del agua, las diferentes densidades de masas líquidas en contacto, las sobrelevaciones del nivel medio, la influencia de la topografía de la costa, etc.

Atendiendo, precisamente al proceso de generación se pueden clasificar las corrientes en cuatro tipos:

- 1.- Corrientes Generales.- Tiene su origen en la acción de los vientos permanentes y en los desplazamientos de masas líquidas de diferentes temperaturas.
- 2.- Corrientes locales inducidas por el viento.- Teniendo en cuenta que la formación de las grandes corrientes oceánicas se debe, en gran parte a la acción dilatada del viento sobre anchas extensiones de agua, este apartado se centra en una superficie limitada durante un tiempo, asimísmo limitado.

El viento que sopla sobre la superficie del mar produce un esfuerzo cortante sobre al agua comunicándole su movimiento. La partícula que, cuando el viento no actuaba, describía órbitas elípticas casi cerradas al

paso de las olas pasa a tener en su movimiento una resultante neta de traslación causada por el impulso del viento.

3.- Corrientes inducidas por el Oleaje.- Según la teoría líneal, el movimiento de las partículas líquidas al paso de una onda forma unas órbitas circulares o elípticas, pero en todo caso cerradas. El movimiento neto pues, de dicha partícula al cabo de un ciclo completo es nulo. Sin embargo y a pesar de que la teoría líneal ofrece una sencilla adaptación a la acción del oleaje no reproduce exactamente algunos fenómenos relacionados con el mismo, y uno de ellos es precisamente este del movimiento de las partículas, ya que en la realidad las órbitas descritas no son cerradas, existiendo por lo tanto un movimiento neto hacia adelante o hacia atrás el paso de cada ola.

4.- Corrientes de Marea.- La elevación y descenso periódico del nivel del agua en las zonas con carrera de marea significativa genera un movimiento de masas líquidas notables; sobre todo en áreas costeras, cuya comunicación con mar abierto está en cierta forma sostenida. En caso de los estuarios, bahías, desembocaduras de vías entradas de los puertos o marinas.

La característica primordial de este tipo de corrientes en su periodicidad, que puede ser semidiurna o diurna dependiendo de como sea la marea astronómica. En las entradas a dichas zonas, pues, la corriente de marea fluye en dos sentidos contrarios; hacia adentro cuando el nivel de agua está subiendo y hacia afuera cuando está bajando. Las máximas velocidades obtenidas en estos puntos suelen estar desplazadas respecto de los movimientos de altamar o bajamar. No obstante, este comportamiento general, las corrientes de momento caen de un lugar a otro, de-

pendiendo como se ha visto, del carácter de la marea y además de la profundidad y de la configuración del terreno.

Esta última circunstancia hace necesario tener que acudir forzosamente a la medida directa si se pretende conocer las características de la corriente en una zona determinada. Los efectos que inducen las corrientes de marea que puedan interesar al técnico portuario y costero se limitan, por lo general, a las zonas próximas al litoral.

Debido a la anterior observación, las corrientes más importantes son: las locales inducidas por el viento, inducidas por oleaje e inducidas por marea.

Es sumamente difícil la determinación de las intensidades de las corrientes, debido a las múltiples variaciones en tiempo y profundidad. Únicamente es posible obtener un valor medio significativo tras una campaña especial con instrumentación precisa. En las zonas costeras aún son mayores las variaciones dado al gran número de agentes que intervienen en su desarrollo.

Los parámetros principales que definen las características de una corriente son la "dirección" o "rumbo" que indica el lugar a donde se dirige, y la "deriva" o "velocidad diaria". Esta última suele indicar en unidades o millas por hora si es grande, o en metros por segundo.

Generalmente el análisis de las corrientes es más significativo cuando se trata de olas que, adicionalmente a su función de determinar la energía del oleaje, deben orientar y encauzar corrientes; tal es el caso de las escolle ras. Cuando el problema no comprende esta situación, el estudio de las co-

rrientes tiene significación exclusivamente en términos de su posible acción erosiva al pie de la estructura. De cualquier manera la determinación de las mismas comprende:

- Para escolleras: valor de las velocidades máximas en la sección original y su distribución hipotética en la sección transformada con las obras.
- Para rompeolas y muros verticales que no tengan función de encauzamiento interesa el valor de la velocidad al pie de la obra.

En ambos casos, la información básica se tiene que obtener por medición directa.

II.3.2 ANALISIS Y RESULTADOS DE LAS CAMPAÑAS DE MEDICION DIRECTA DE CORRIENTES.

La información en materia de corrientes, recabada y analizada del registro continuo establece velocidades máximas de 1.1 m/seg. aunque, en una frecuencia muy baja 0.001 o/o del tiempo, lo que presenta 3 minutos; sin embargo las condiciones medias de corriente son de 24 cm/seg y la dirección predominante de oeste a este el 26% del tiempo. Un valor importante es el hecho de que el 99.98% del tiempo, las velocidades no exceden los 80cm/seg y las corrientes no exceden de 60 m/seg el 99.25% del tiempo. Los detalles en cuanto a distribución de frecuencia media y máxima por dirección se ilustran en la tabla 2.3.2.1

TABLA 2.3.2.1

PUERTO INDUSTRIAL DE SALINA CRUZ, OAXACA.

CARACTERISTICAS DE LAS CORRIENTES

(Frecuencias en porcientos y velocidades en centímetros por segundos)

DIRECCION	PROFUNDIDAD = 10 m				PROFUNDIDAD = 5 m				PROFUNDIDAD = 1 m.			
	MAXIMA		MEDIA		MAXIMA		MEDIA		MAXIMA		MEDIA	
	Vel.	Frec.	Vel.	Frec.	Vel.	Frec.	Vel.	Frec.	Vel.	Frec.	Vel.	Frec.
NORTE	100	0.016	23	9.05	100	0.002	25	12.88	80	0.229	27	11.19
NOROESTE	100	0.012	23	9.74	100	0.002	22	10.54	100	0.001	24	11.89
ESTE	100	0.002	23	9.70	80	0.011	21	11.10	80	0.020	22	7.42
SURESTE	100	0.001	22	9.38	80	0.009	22	9.24	80	0.025	21	4.29
SUR	100	0.004	22	13.37	100	0.001	24	13.01	80	0.071	25	7.36
SUROESTE	100	0.001	23	15.14	100	0.003	24	12.89	80	0.022	25	6.85
OESTE	100	0.001	23	20.65	100	0.001	24	17.93	110	0.002	29	3.85
NOROESTE	100	0.001	23	12.96	100	0.002	23	12.39	80	0.196	26	11.86

Junto con éste análisis se llevó a cabo otro para un intervalo de tiempo de 24 horas, dentro del día en que se registró la máxima velocidad media del flujo, este ligero análisis se realizó mostrando datos para intervalos de tres horas de duración. Estos resultados se presentan en la tabla -- 2.3.2.2, en la cual se aprecian claramente las altas velocidades y la fuerte dominancia de la dirección oeste; esta tabla representa la condición crítica durante el año en estudio con fecha 24 de junio de 1980.

TABLA 2.3.2.2

PUERTO INDUSTRIAL Y COMERCIAL DE SALINA CRUZ, OAXACA.
 ANALISIS ESTADISTICO ANUAL 1980-1981.
 CONDICIONES CRITICAS DE VELOCIDAD DE CORRIEN-
 TES SUBMARINAS.
 24 DE JUNIO DE 1980

INTERVALO DEL MUESTREO (HORAS)	VELOCIDAD MEDIA (C.M./SEG.)	FRECUENCIA DE INCIDENCIA DE ESTE (%).
0 - 3	54.6	67.6
3 - 6	57.2	74.5
6 - 9	61.4	76.3
9 - 12	59.3	69.8
12 - 15	60.2	77.5
15 - 18	58.7	72.7
18 - 21	54.9	67.9
21 - 24	49.8	75.4
0 - 24	57.01	72.71

II.4 MAREAS.

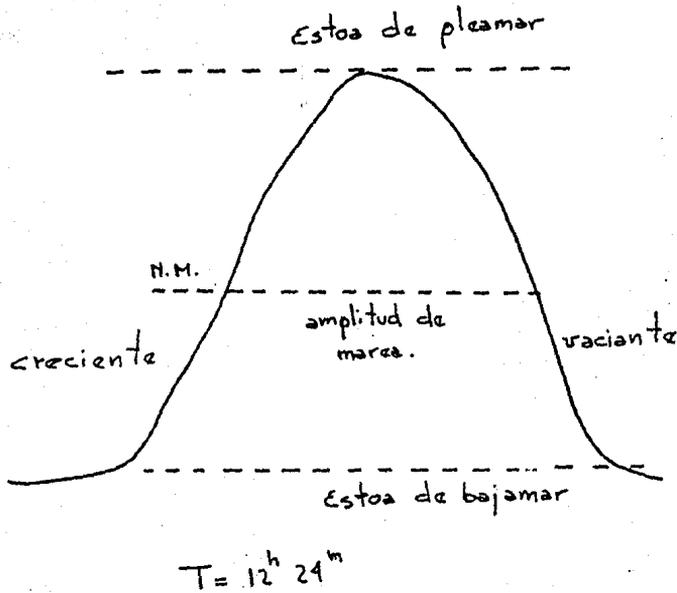
Las mareas son movimientos periódicos de elevación y descenso del nivel - del mar debido a las atracciones gravitatorias que ejerce la luna, el sol y los demás cuerpos astrales. Su intensidad está en íntima relación con las posiciones relativas que el sol y la luna tienen sobre la tierra.

Normalmente existen dos niveles altos y dos niveles bajos en cada intervalo de día lunar. Al ser pues, el día lunar 50 minutos más largo que el día solar, puede entenderse que el periodo del movimiento ondulatorio es de 12 horas 25 minutos, produciéndose, por ello, los máximos niveles cada día de 50 minutos mas tarde aproximadamente.

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

Si se observa el nivel del mar se ve que éste no es constante sino que tiene un movimiento rítmico de subida y de bajada; primero sube, después empieza a descender, reflujo o vaciante, llegando a un mínimo, bajamar, reproduciéndose de nuevo la oscilación en torno a una posición media que se llama nivel medio. La diferencia entre los niveles alcanzados se llama carrera de marea o amplitud.

Tanto en pleamar como en bajamar, el nivel permanece invariable durante cierto tiempo, que se llama estoa de marea.



Se ha demostrado matemáticamente que la influencia de la luna es 2.35 veces mayor que la del sol en producción de mareas pues aunque su masa es mucho menor que la del sol; sin embargo, su distancia a la tierra es también mucho menor.

Por otra parte, puesto que la luna y la tierra describen sus movimientos - con respecto a la tierra y el sol, respectivamente, según sus órbitas elípticas, las distancias serán en ciertos momentos mínimas, perigeo, y en --- máximas; apogeo, variando, las mareas desde más grandes a más pequeñas. Si el sol y la luna coinciden en sus posiciones con respecto a la tierra, es- decir están en conjunción u oposición, sus efectos se sumarán produciéndose mareas vivas; en cambio si están en cuadratura, se restarán produciéndose mareas muertas.

Si la conjunción se produce además en el momento de la mínima distancia de la luna y el sol a la tierra, su acción será máxima; dando lugar a las mareas máximas o cerradas, siendo la mayor en los equinoccios; por el contrario, en caso de cuadratura a máxima distancia, es decir, en solsticios; se producirán mareas mínimas.

Para determinar el nivel medio del mar, se obtiene con alguna aproximación tomando la media de todos los pleamares y bajamares durante una lunación o sea durante 29.53 días. El nivel medio invariable se obtiene extendiendo las observaciones a un gran número de años, por lo menos 19 que son los correspondientes a un ciclo lunar.

Si queremos obtener con aproximación suficiente en cada puerto, se puede tomar sobre una escala graduada los niveles de un pleamar, la bajamar siguiente, y la pleamar inmediata. Se toma el punto medio entre dos pleamares (n) y la bajamar tomada. Experimentalmente se comprueba que el nivel del año obtenido es sensiblemente invariable.

Para el técnico portuario la predicción de mareas tiene una importancia considerable ya que de ello pueden derivarse conocimientos fundamentales para explotación de puertos, construcción de obras, defensa de costas etc.

II.4.1 RECOPIACION Y ANALISIS DE DATOS ESTADISTICOS.

A través de las tablas de predicción de mareas efectuadas por el Instituto de Geografía de la U.N.A.M. cuyo registro se han efectuado de 1952 a 1971, por medio de un mareógrafo instalado en un muelle de PEMEX del actual puer

to de Salina Cruz; de estos múltiples años en los que se realizan estos registros, se establecieron constantes armónicas que permiten determinar con exactitud la predicción de mareas, mismas que se observan con bastante coincidencia, teniéndose bien establecidos los niveles significativos de marea, los cuales se indican en la tabla 2.4.I.1, y cuyas variaciones máximas pueden oscilar en torno de 2.4 m.

Otra característica importante de este registro son las proporciones de la marea dominante en la zona, la cual es de tipo semidiurno con amplitud de 1.30 m. aproximadamente.

TABLA 2.4.1.

PUERTO INDUSTRIAL DE SALINA CRUZ, OAX.

PLANOS DE MAREAS REFERIDOS AL NIVEL MEDIO DEL MAR.

Altura máxima registrada	1.296 m
Pleamar máxima registrada	1.174 m
Nivel de pleamar media superior	0.645 m
Nivel de pleamar media	0.536 m
Nivel medio del mar	0.000 m
Nivel de media marea	-0.006 m
Nivel de bajamar media	-0.536 m
Nivel de bajamar media inferior	-0.574 m
Bajamar mínima registrada	-1.112 m

II.4.2 ANALISIS DE CAMPAÑA DE REGISTRO CONTINUO.

Como se puede ver en la tabla anterior, la información sobre mareas en el sitio puede considerarse confiable, ya que además de abarcar un periodo de 15 años de registro, tiene identificados los parámetros fundamentales de la onda de mareas.

Sin embargo, con el objetivo de apoyar este estudio y para particularizar en el sitio del nuevo puerto, se propuso una campaña de registro continuo de mareas procesándose los datos de la siguiente manera:

Se diseñó una tabla para vaciar los datos en forma horaria, para cada día del año, cuya forma se presenta en la tabla 2.4.2.1, que como puede apreciarse corresponden las columnas a la hora, el valor esperado, según las tablas de predicción, pleamareas y bajamareas, las mediciones directas de regla en forma horaria y el registro continuo del mareógrafo. Este último con dos columnas, una de las cuales, la titulada lectura, se anotó el valor promedio correspondiente a los registros de una hora ya que los datos se presentan cada minuto y no presentan secuencia ordenada, y la segunda columna, titulada corrección, para corregir los datos por desfaseamiento, del tiempo y los referidos al plano de comparación. Como conclusión, habiéndose observado con concordancia en el registro de amplitudes, pueden considerarse los niveles significativos los analizados en la tabla 2.4.1.1.

T A B L A
COMPARACION Y AJUSTE DE MAREAS DE SALINA CRUZ.

17 y 18 de marzo de 1981.

HORA	TABLAS DE PREDICCION	MEDICION DIRECTA	REGISTRO LECTURA	CONTINIO CORRECCION	OBSERVACIONES
1		0.82	7803	0.938	
2		0.63	7575	0.706	
3		0.39	7379	0.510	
4		0.22	7191	0.322	
5		0.05	7014	0.145	
6	0.09	-0.03	6954	0.085	BAJAMAR
7		0.03	7062	0.193	
8		0.13	7190	0.321	
9		0.40	7450	0.581	
10		0.57	7612	0.743	
11		0.72	7762	0.893	
12	0.88	0.84	7836	0.967	nleamar
13		0.78	7775	0.906	
14		0.70	7649	0.780	
15		0.54	7507	0.638	
16		0.28	7272	0.403	
17		0.15	7149	0.280	
18	0.09	0.12	7030	0.161	BAJAMAR
19		0.17	7082	0.213	
20		0.25	7176	0.307	
21		0.41	7373	0.504	
22		0.63	7605	0.736	
23		0.84	7823	0.954	
24		0.92	7906	1.037	
1	1.01	1.07	8023	1.154	nleamar
2		0.99	7911	1.042	
3		0.82	7763	0.894	
4		0.51	7514	0.645	
5		0.34	7347	0.478	
6		0.12	7155	0.286	
7	0.06	0.10	7038	0.169	BAJAMAR
8		0.11	7130	0.261	
9		0.24	7156	0.287	
10		0.47	7400	0.531	
11		0.75	7858	0.989	
12		0.84	7858	0.989	
13	0.91	0.97	7907	1.038	
14		0.94	7874	1.005	
15		0.79	7718	0.849	
16		0.67	7494	0.625	
17		0.40	7274	0.405	
18		0.30	7128	0.259	
19	0.09	0.16	7047	0.178	nleamar
20		0.24	7200	0.331	

C A P I T U L O I I I

ANALISIS DEL TRANSPORTE LITORALIII.- 1.- NOCIONES DE DINAMICA LITORAL

El borde costero, ya esté constituido por playas de arenas finas como por acantilados o zonas rocosas, mantiene un contacto permanente con un elemento de continua movilidad cual es el mar. La energía que contiene dicho movimiento se transmite al medio terrestre produciendo una deformación del mismo, más o menos reducida, que es perceptible para el observador sólo al cabo de un cierto tiempo.

En esquema, el litoral puede asimilarse a un mecanismo de distribución de los sedimentos o partículas sólidas. En él existen zonas de producción de sedimento, llamados fuentes así como zonas de consumo, llamadas drenes o sumideros, mientras que todo él es, asimismo, una red de transporte de las partículas sólidas.

Las fuentes de sedimento son:

- Cauces fluviales de régimen continuo o intermitente como ríos, torrentes, golas, etc.
- Acantilados en fase de retroceso.

- Conchas marinas y otros elementos calcáreos.
- Arrastres en suspensión por el viento.
- Vertidos artificiales producidos por obras de regeneración, minas, canteras, etc.

De otra parte, los drenes o sumideros son aquellos puntos en los que el sedimento sale del mecanismo de distribución o bien queda inmovilizado en él. Los elementos más representativos que ejercen esta acción son:

- Cañones submarinos.
- Ensenadas o estuarios naturales.
- Obras de defensa o regeneración.
- Puertos comerciales o deportivos.
- Transporte por viento.
- Extracciones artificiales de áridos.
- Pérdidas por abrasión.

Los agentes motores del movimiento de los sedimentos son fundamentalmente: el oleaje y el viento. El primero ejerce su acción en la playa sumergida y en el estrán o zona de playa mojada. Pudiendo ésta internarse muchos metros en la playa usualmente seca en caso de sobreelevaciones del nivel del mar, motivadas por fuertes temporales. De una forma simplista se puede suponer que la mayor parte del transporte de la arena del litoral lo motiva el oleaje y dentro de éste a través de tres acciones diferentes:

- Por el movimiento ondulatorio de las partículas líquidas.
- Por la incidencia oblicua de los frentes de ola.
- Por la acción diferencial del oleaje debido a la existencia de fenómenos de difracción o refracción.

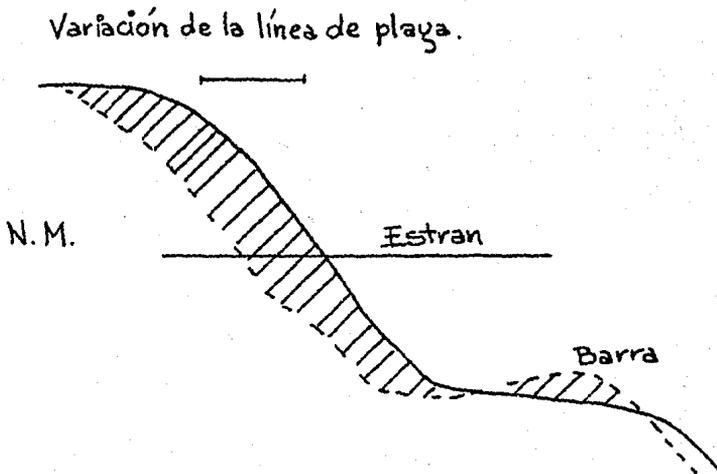
El viento en cambio, actúa de manera directa, únicamente sobre la superficie de playa seca, donde las partículas sólidas son fácilmente desplazables.

Existen dos modalidades fundamentales del transporte de sedimento según su dirección.

- Transporte en dirección normal a la costa.
- Transporte paralelo a la costa.

El transporte normal a la costa está generado principalmente por la primera de las acciones anteriormente dichas, es decir, por el movimiento ondulatorio de las partículas que produce el arrastre en uno y otro sentido de los granos de sedimento del fondo. Dependiendo de las características de la ola, altura y longitud, de la profundidad y del tamaño de las partículas sólidas, el sentido neto resultante del transporte será en dirección de la costa o en dirección al interior del océano. De una manera general, se puede afirmar que, para valores inferiores de la relación altura de la ola/longitud de onda, H/L , y para áridos de graduación más gruesa, el sentido resultante es hacia la costa. Un fenómeno común es el que caracteriza los cambios estacionales de las playas (fig. 3.1.1. Debido a la sobreelevación del nivel del mar y el aumento del peralte, la relación H/L del oleaje durante los temporales típicos de la estación invernal se produce un retraimiento -

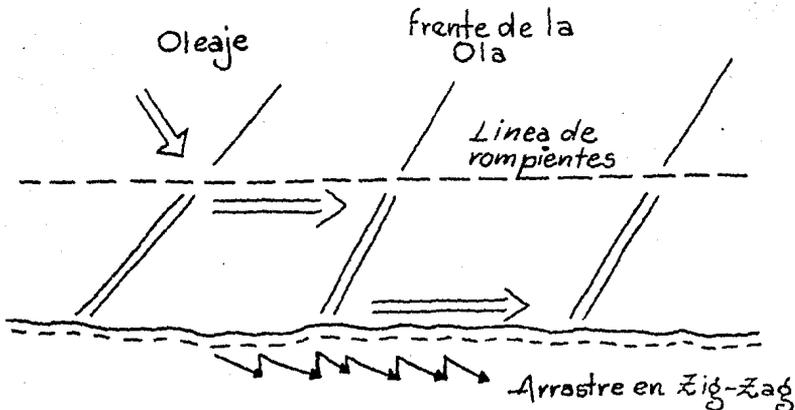
de la línea de playa y la formación de una barra sumergida a una cierta -- distancia de ella como resultado de la deposición de los sedimentos en agi-- tación a causa del equilibrio de las fuerzas que los impulsan hacia atrás y hacia adelante. Posteriormente, durante los períodos de bonanza y oleaje poco peraltado, la situación inicial se restablece desapareciendo la barra ya avanzando la playa, al existir una dirección resultante el movimiento -- hacia la costa



A mayores profundidades el transporte de sedimento por movimiento ondulatorio de partículas líquidas se manifiesta por la formación de los típicos - surcos ripples en los fondos arenosos. A pesar de que a profundidades superiores al doble de la altura de ola el movimiento efectivo de las partículas de arena es de pequeño orden, se han constado formaciones de ripples a más de 100 m. de profundidad.

Otros fenómenos causantes del transporte de sedimento en sentido normal a la costa, son las corrientes originadas por sobreelevación del nivel del mar en las zonas costeras y por irregularidades en los fondos entre las que destacan las llamadas corrientes de retorno, rip-currents, que evacúen los sobrevolumenes de agua acumulada en la zona litoral por los oleajes de Swell hacia el mar adentro arrastrando en su camino el sedimento del fondo y dando lugar a una turbia corriente fácilmente visible en fotografías aéreas.

La otra modalidad de transporte es la de dirección paralela a la línea de costa. Tiene lugar en su mayoría a lo largo de la franja limitada por la zona de rompientes y la línea de orilla. Al incidir el oleaje de forma oblicua a la costa se puede descomponer el vector energético del mismo en dos componentes: uno de dirección normal y otro de dirección paralela a la orilla, es este último precisamente, el causante del transporte de arena - paralelo o longitudinal. La rotura de la ola, bien en las rompientes de barra sumergida o bien en el mismo entran y pone en agitación las sólidas partículas del fondo que son inmediatamente arrastradas por la energía -- que en forma de corriente discurre paralela a la playa. (Fig. 3.1.2.)



La ola residual que llega oblicuamente a la orilla provoca el arrastre de la arena en zig-zag como consecuencia de la subida de la masa de agua por la pendiente de la zona activa de la playa y su posterior bajada según la línea de máxima pendiente.

Este tipo de transporte es el responsable de una parte significativa del volumen total del sedimento transportado y principal causante de los cambios notables, aterramientos, erosiones y basculamientos, que sufren algunas playas.

Tanto el transporte normal a la playa como en el paralelo, el movimiento de las partículas sólidas se efectúa por arrastre por el fondo y por suspensión en la masa líquida, si bien en el caso del transporte paralelo en zona de rompiente predomina la última de las dos modalidades.

Cuando se trata de analizar la tendencia de un sector hacia situaciones de equilibrio, erosión o acrecimiento es necesario efectuar una estimación, lo más aproximado posible de los volúmenes de arena que entran, circulan y salen por dicho sector al cabo de un período de tiempo determinado. Este balance de sedimentos requiere el conocimiento cualitativo y cuantitativo de los elementos que en él intervienen, teniendo en cuenta los conceptos de fuente y dren como procesos de incremento y disminución de arena respectivamente.

En una zona cualquiera en estudio, existirá equilibrio en la dinámica sedimentaria siempre que:

$$\text{aportes} = \text{pérdidas}$$

Si por el contrario, las pérdidas son superiores o inferiores, se puede decir que la zona costera se haya en proceso de erosión o acrecimiento, respectivamente.

En la práctica, la determinación cuantitativa de los distintos elementos que intervienen en el balance presenta grandes dificultades por ser su medición, en muchos casos, bastante compleja. Es necesario entonces recurrir a procedimientos analíticos, más o menos complicados, y a estimaciones aproximadas que determinen los valores de los distintos parámetros que entran en la ecuación del balance de sedimentos.

Por otra parte, debido a las formas de las costas, provocan obstáculos frente al transporte litoral, dividiéndose estas formas en: barreras naturales (cabos) o artificiales (diques, espigones) de dirección sensiblemente perpendicular la línea de la costa.

- Los cauces naturales, emergidos (desembocaduras de ríos, torrentes) o sumergidos (cañones submarinos) y los artificiales (canales, emisarios submarinos).
- Los entrantes bruscos en la alineación de la costa (bahías y estuarios).
- Las zonas abrigadas por obstáculos naturales (islotos) o artificiales (diques) sensiblemente paralelos a la costa.

Dentro del proyecto de obras exteriores, es precisamente la cuantificación de la capacidad de transporte sólido litoral, una de las características que nos limita para el cálculo correcto de dichas obras. Las variables --

Las variables que intervienen en este proceso; como son las - características del oleaje, de los sedimentos y de la capacidad del transporte longitudinal del mismo, han sido objeto de numerosos estudios de laboratorio en todo el mundo. En principio podemos suponer que la Q_a , capacidad de transporte sólido, es función de las siguientes variables:

$$Q_a = (H, T, a, B, m)$$

siendo:

- H = Altura de la ola
- T = Período de la ola
- a = Angulo de incidencia del oleaje
- B = Coeficiente geométrico de la playa
- m = Coeficiente morfológico del sedimento

Evidentemente estas características variarán con el tiempo y con el lugar en cuestión, por lo que para el estudio de la - capacidad de transporte sólido en una zona en particular será necesario acudir a procedimientos estadísticos.

Existen varias fórmulas mediante las cuales es posible la -- cuantificación de la capacidad de transporte. La mayoría de ellas, obtenidas por procedimientos teóricos o mediante ensayos en modelo reducido en laboratorios, están muy poco contras - tadas en la realidad y los resultados obtenidos mediante su - aplicación merecen poca confianza. Entre esas fórmulas se en

cuentran las de: Coastal Engeneering Research Center (C.E.R.C.) la fórmula de Larrás, Criterio de Caldwell, etc. Estas fórmulas las aplicaremos en nuestro caso en estudio más adelante.

En definitiva, la cuantificación del transporte de sólido litoral, necesaria para el correcto análisis de la mayoría de los problemas costeros, requiere, para cada caso particular orientado en las siguientes premisas:

- El mejor método de cuantificación es el derivado del estudio de un modelo natural próximo y de similares características, en el caso de que exista.
- Si las cantidades deducibles de sitios cercanos no son conocidos, convendrá computarlas con datos fiables que muestren los cambios históricos en la topografía de la zona litoral (cartas náuticas, sondeos batimétricos, registro de dragados, etc.).
- En el caso de no ser aplicables los anteriores procedimientos, conviene recurrir a la estimación del transporte litoral mediante fórmulas analíticas. Este procedimiento, si bien más rápido que los anteriores, adolece de menor exactitud.
- La aplicación conjunta de los tres procedimientos ofrece una visión más completa del problema y una mayor fiabilidad en los resultados.

III. 2.- MUESTREO Y CARACTERISTICAS DE LOS SEDIMENTOS.

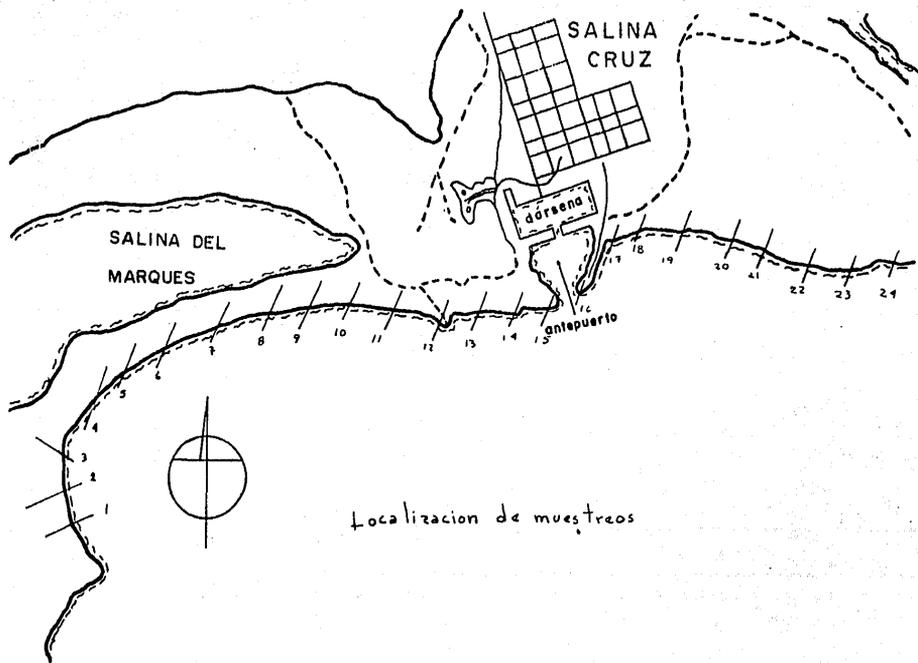
Dentro del estudio del análisis de acarreo litoral, es de menester importancia obtener las características granulométricas del material playero existente, ya que con esa base se pueden obtener los diámetros representativos del material.

Para este caso, se recolectaron muestras de arena superficial en diferentes zonas, a lo largo de 35 Kms. del frente playero en la zona de estudio, habiéndose seleccionado 33 secciones de muestras con una separación entre cada una de ellas de 1 Km.- aproximadamente, extrayéndose las muestras de suelo de un peso aproximado de 5 Kgs., con un muestreador de almeja.

En las zonas denominadas: duna y berma y estrán y a -1 m. -5 m. -10 m. de profundidad en el mar, recolectándose un total de 198 muestras en cada campaña, las cuáles se efectuaron en cuatro ocasiones correspondientes a las cuatro estaciones del año.

La localización de los muestreos se puede observar en el plano (P-3.2.1.).

A partir de estas muestras se efectuó un análisis granulométrico de densidad, con el objeto de establecer las características físicas de las mismas, habiéndose encontrado bastante similitud entre ellas, siendo básicamente arenas en más del 95% y escasos



Localizacion de muestreos

contenidos de finos a excepción de algunas zonas de promontorios rocosos, como es el caso de las puntas conocidas como - Conejos, Cola de Pato y Ventosa, donde se localizaron gravas y salientes rocosas.

Finalmente, mediante el sistema unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.) obtenemos en la tabla 3.2.1 los diámetros - en cada una de las profundidades requeridas en cada sitio de estudio. En esta tabla se puede apreciar claramente que los diámetros generalmente tienen el orden de 0.5 m.m., con pequeñas desviaciones mayores o algunas veces menores.

Cabe aclarar que los diámetros medio de arrastre se calcularon como el promedio absoluto entre las zonas de berma, estrán y -1 m.

TABLA 3.2.1.

PUERTO INDUSTRIAL DE SALINA CRUZ, OAXACA
 DETERMINACION DE LOS DIAMETROS MEDIOS EN LA ZONA

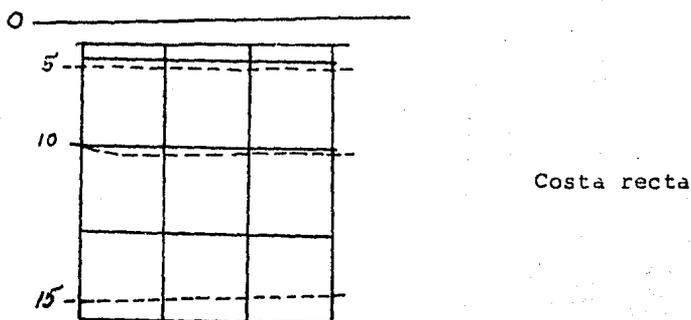
ZONA DE ESTUDIO	DIAMETRO MEDIO "D50" A LO LARGO DE LA SECCION						DIAMETRO MEDIO DE ARRASTRE
	DUNA	BERNA	ESTRAN	-1.00	-5.00	-10.00	
Cola de Pato	0.395	0.445	0.388	0.560	0.292	0.234	0.464
Bahía Ventosa	0.497	0.644	0.393	0.581	0.197	0.106	0.539
Col. Cuauhtémoc	0.476	0.577	0.414	3.521*	0.163	0.136	1.504
Laguna Quira	0.434	1,700	0.519	0.337	0.324	0.134	0.852

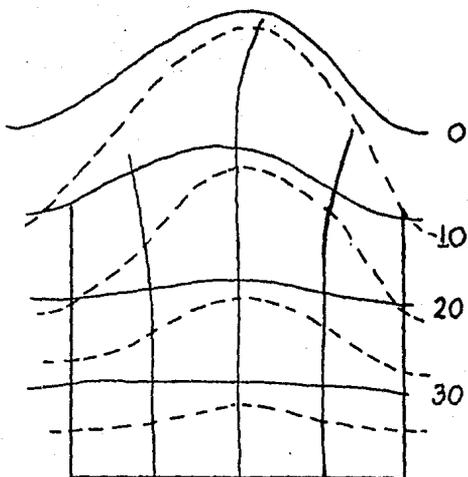
FUENTE: Análisis Granulométricos 1a., 2a. y 3a. Campaña de Muestreo; CIPSA Consultores 1980-1981.

III. 3.- REFRACCION DEL OLEAJE

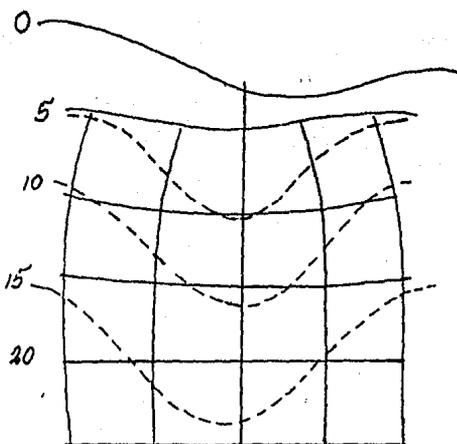
Debido a la presencia del fondo, las características de las --olas sufren modificaciones, presentándose el fenómeno denominado refracción de oleaje; este fenómeno es la manifestación de la presencia de los bajos fondos, que inducen a cambios en las características de las olas, las cuales, de un modo general, -tienden conformarse según a la topografía del fondo.

El estudio de las modificaciones inducidas pueden sintetizarse en los casos que a continuación se estudian, donde por comodidad y para mayor claridad de la exposición, se ha considerado la batimetría más simple, es decir la constituida por isobatas paralelas a la costa, sin que esto excluya la posibilidad de -existencia de una topografía de características cualesquiera.





Costa cóncava



Costa convexa

Como se aprecia en la figura anterior, la cresta de las olas - se adaptan a las formas de las curvas del nivel del fondo; se han trazado sobre la cresta inicial una serie de líneas normales y equidistantes, que en las crestas subsecuentes pueden conservar o nó su equivalencia con cada caso particular. Estas líneas

imaginarias denominadas ortogonales permiten el estudio de las olas al analizar la repartición de la energía por unidad de la cresta.

Para la construcción de los planos de oleaje en planta, se utiliza el método de los ingenieros Iribarren y Casto Nogales, de la siguiente forma: conocidas las características de la ola - significativa en el límite de aguas profundas, se procede al - trazo del plano de oleaje para conocer las características de la ola en cualquier punto de la zona de aguas bajas.

Las características de las olas en aguas profundas y en aguas bajas están ligadas por las relaciones siguientes:

Aguas profundas

$$C_0 = \sqrt{\frac{g L_0}{2\pi}}$$

$$T_0 = \sqrt{\frac{2\pi L_0}{g}}$$

$$L_0 = \frac{g T_0^3}{2\pi}$$

$$L_0 = C_0 T_0$$

Aguas bajas

$$C = \sqrt{\frac{g L}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L}}$$

$$T = \sqrt{\frac{2\pi L}{g} \coth \frac{2\pi d}{L}}$$

$$L = \frac{g T^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L}$$

$$L = C T; K = \coth \frac{2\pi d}{L}$$

Entre el límite de aguas profundas y la zona cercana a la costa puede considerars:

$$T = T_0$$

$$\sqrt{\frac{2\pi LK}{g}} = \sqrt{\frac{2\pi L_0}{g}}$$

$$\therefore LK = L_0$$

Así se está en posibilidad de determinar los valores de L y K ya que L_0 y g son conocidos.

Con la expresión

$C = \sqrt{\frac{gL}{2\pi} \frac{1}{K}}$ se puede calcular la celeridad de la ola correspondiente a cualquier profundidad d para un caso de terminado.

Para valuar L, C y K correspondientes a profundidades de $< \frac{L_0}{2}$ se toma el siguiente cuadro:

d/L	$\frac{2\pi d}{L}$	$\tanh \frac{2\pi d}{L} = \frac{1}{K} = \frac{L}{L_0}$	$\frac{d}{L_0} = \frac{d}{L} \frac{L}{L_0}$
0.500	3.141	0.9963	0.4980
0.45	2.828	0.9930	0.4470
0.40	2.515	0.9870	0.3950
0.35	2.202	0.9758	0.3420
0.30	1.888	0.9552	0.2870
0.25	1.569	0.9170	0.2290
0.20	1.257	0.8501	0.1700
0.15	0.9400	0.7352	0.1100
0.10	0.6303	0.5582	0.0560
0.05	0.3119	0.3022	0.0150
0.00	0.0000	0.0000	0.0000

Si se fija un valor cualquiera a la relación d/l , por ejemplo:

$$\frac{d}{L} = 0.3440; \quad \frac{2}{L} d = 2.161$$

$$\text{Tan } H = \frac{2}{L} d = 0.9738 = \frac{L}{Lu};$$

$$\frac{d}{Lo} = \frac{d}{L} \times \frac{L}{Lo} = 0.3440 \times 0.9738$$

$$\frac{d}{Lo} = 0.3350$$

Ahora bien, para determinar el avance de la ola a una profundidad dada, utilizando la tabla anterior, se formula la tabla de avances.

d	$\frac{d}{Lo}$	$\frac{L}{Lo}$	$L = \frac{L}{Lo} \times Lo$
50	0.50	0.9964	99.64
25	0.25	0.9332	93.32
10	0.10	0.7093	70.93
5	0.05	0.5310	53.10

Con esta tabla puede obtenerse, para una profundidad dada, el avance correspondiente de la ola L , con la aproximación que sea necesaria .

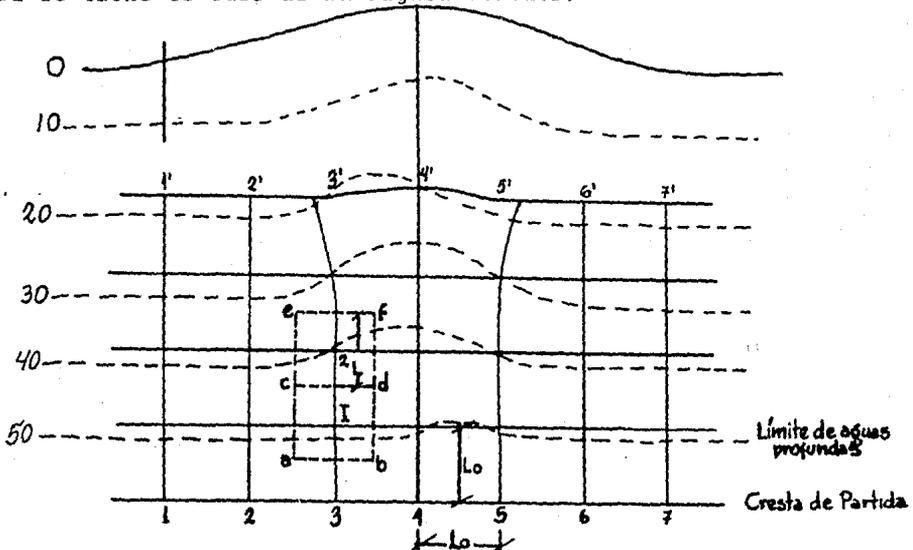
La tabla anterior nos dá un avance L correspondiente a la profundidad "d", en un punto, pero como el desplazamiento es general, la ola quedará sujeta a las condiciones que se tengan en cierta área, alrededor del punto considerado. Si la ola -

crucza por un tramo de profundidad constante, el avance de la ola necesariamente corresponderá al de la profundidad "d" en la zona.

Al iniciar cualquier plano de oleaje, se parte del límite de aguas profundas de $L_0/2$, donde las crestas de las olas son normales a la dirección del temporal.

Se puede dividir la cresta de partida en la toma que se quiera para que a partir de ahí partan las ortogonales. Es conveniente que las ortogonales queden separadas entre sí, en la zona de aguas profundas, una distancia igual al avance que se considere: si el avance inicial es L_0 la separación entre las ortogonales será L_0 ; si el avance inicial es $S L_0$, la separación entre ortogonales será $S L_0$; etc.

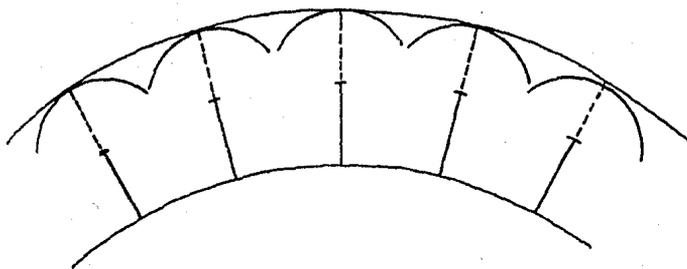
Si se tiene el caso de la Figura 3.2.1.1)



El avance correspondiente al punto 1, será el avance promedio de los puntos a, b, c, d; que cuando éstos tienen la misma profundidad, basta con tomar el avance correspondiente a la profundidad del punto I.

Para determinar en forma más precisa el avance de las crestas, se sigue el siguiente procedimiento (Fig. 3.2.1.2.)

Se dibujan las ortogonales, trazando la mitad del avance correspondiente a cada punto, según el procedimiento descrito anteriormente y con un radio de igual longitud se dibujan arcos de círculo, de tal manera que la nueva cresta se toma uniendo las tangentes de los círculos, como se indica en la figura.



Trazo del avance de la Ola.

III. 3. 1.- RESULTADOS DE LOS DIAGRAMAS DE REFRACCION DEL OLEAJE EN LA ZONA COSTERA EN ESTUDIO.

Mediante el método de elaboración de planos de oleaje de los ingenieros Iribarren y Nogales, explicado en el inciso anterior se procedió a la construcción de estos diagramas de refracción.

Se elaboraron los diagramas de refracción con cinco direcciones de incidencia: Oeste, Suroeste, Sur, Sureste y Este; utilizando el período de 14 segundos, resultado de las tablas de análisis de oleaje.

En la tabla 3.3.1.1 se muestran los resultados de los coeficientes de refracción, para cada uno de los canales a estudiar, mientras que en la tabla 3.3.1.2 se observan los ángulos en los cuales se refracta el oleaje en la línea costera.

Analizando estos resultados, podemos observar pequeñas variaciones en la concentración o disipación de energía en el caso de incidencia del oleaje en la dirección Sur y siendo básicamente concentraciones en la zona de la Ventosa, debido al bajo que existe en ésta y disipaciones en la zona de Bahía del Marqués, dada la protección natural de éstas y la incidencia oblicua del oleaje con respecto a la configuración batimétrica; sin embargo, frente a la zona del Mar Tileme esta disipa-

ción no lo es tanto ya que el bajo de la zona provoca la concentración de energía, por último, con relación a la direc--ción Sureste y Este la disipación de energía no es tan acen--tuada en la zona de las bahías, ni en el frente playero de - la zona Huave dada la configuración batimétrica, o sea, la - presencia del bajo en esta parte, sin embargo, la frecuencia de incidencia de este oleaje es pequeño.

TABLA 3.3.1.2.

PUERTO INDUSTRIAL DE SALINA CRUZ, OAXACA

COEFICIENTES DE REFRACCION EN LA ZONA.

ZONA DE ESTUDIO	COEFICIENTE DE REFRACCION "K _r " POR DIRECCION				
	OESTE	SUROESTE	SUR	SURESTE	ESTE
Cola de Pato	0.142	0.425	0.917	0.899	0.790
Bahía Ventosa	0.128	0.459	0.780	1.092	0.632
Col. Cuauhtémoc	0.187	0.798	1.338	0.810	0.629
Laguna Quira	0.418	0.998	0.797	0.835	0.821

FUENTE: Planos de Refracción para T = 14 Seg.; CIPSA CONSULTORES 1980 - 1981

TABLA 3.3.1.3

PUERTO INDUSTRIAL DE SALINA CRUZ, OAXACA
 ANGULOS DE INCIDENCIA DEL OLEAJE EN LA ZONA

ZONA EN ESTUDIO	ANGULO DE INCIDENCIA EN ROMPIENTE "ALFA" POR DIRECCION				
	OESTE	SUROESTE	SUR	SURESTE	ESTE
Cola de Pato	18º,30'	16º, 30'	04º,15'	-18º,00'	-28º,00'
Bahía Ventosa	08º,00'	03º,00"	1º,00'	-00º,15'	-13º,30'
Col. Cuauhtémoco	27º,00'	19º,00'	00º,00'	-34º,00'	-41º,00'
Laguna Quira	33º,00'	18º,30'	01º,00'	-34º,30'	-41º,00'

FUENTE: Planos de Refracción para T= 14 Seg.; CIFSA CONSULTORES 1980 - 1981

III. 4.- CUANTIFICACION DEL TRANSPORTE LITORAL

Para este fin se utilizan métodos directos e indirectos, los cuales van definiendo paso a paso la dinámica litoral, así - como los volúmenes transportados por ésta a lo largo de la - línea de playa y en sus dos direcciones, a pesar de la complejidad del fenómeno, dada su aleatoriedad y grado de incertidumbre.

Existen en la zona bastantes elementos que permiten asegurar, que el flujo del transporte litoral es predominante de Oeste a Este; estos elementos abarcan una gama muy amplia, que va desde una serie de estudios realizados en la zona hasta el análisis de los testigos de la misma; específicamente del Espigón Cola de Pato, cuya construcción fue realizada con el objeto de cuantificar el volumen de acarreo, el cual se llevó y se lleva a cabo periódicamente.

Salina Cruz, desde su fundación como puerto, a principios de este siglo, tuvo problemas debido al gran transporte litoral existente allí; en otras palabras, la importancia del fenómeno se dió a conocer desde los orígenes del puerto, producto de los fuertes azolvamientos que sufrieron sus dársenas y los no menos importantes problemas de operación producto de los mismos.

A partir de esta época se han desarrollado una serie de estudios, cuyo objetivo principal fue el terminar con este problema; dichos estudios, aunque no fueron realizados para nuestro proyecto, aportan bastantes elementos, que nos ayudan a realizar una determinación más precisa del transporte litoral en la zona.

De entre los trabajos realizados en la zona, dos son de fundamental importancia para el presente estudio, ya que contienen información de interés; dichos trabajos son:

- Estudio de Azolves y Dragados en Salina Cruz, realizado por CIFSA Consultores en el año de 1971 para la Dirección General de Dragados, Secretaría de Marina.
- Análisis Sistemático del Espigón Cola de Pato.

El estudio de azolves y dragados contiene casi toda la información de los trabajos realizados en la región hasta 1971, mientras que el análisis sistemático del Espigón Cola de Pato consiste en una serie de levantamientos topohidrográficos llevados a cabo por la Dirección General de Obras Marítimas, y que son relativamente anteriores a nuestros trabajos.

De lo hasta aquí expuesto, podemos llegar a la conclusión de que el análisis de estas fuentes aporta elementos interesantes

que pueden apoyar la determinación del transporte litoral, a continuación se describen los aspectos más relevantes de cada uno.

III.4.1.- REPORTE DE DRAGADOS EN EL PUERTO ACTUAL.

El reporte de dragados consiste básicamente en un análisis estadístico aplicado a los volúmenes de material extraído del recinto portuario por las dragas "Presidente Miguel Alemán", "Salina Cruz", "Coatzacoalcos", "Papaloapan", "Mazatlán", "Atahualpa" y "Donají 1"; entre los años de 1961 a 1970.

La tabla 3.4.1.1. muestra los resultados de este análisis, que como puede observarse arroja un valor medio de dragado anual del orden de $1'200,000 \text{ m}^3$, cantidad que a simple vista puede considerarse muy elevada, pero que se justifica en parte por el efecto de abundamiento y mezclado del material arenoso con agua, el cual se estima en el 30%; y en parte por efecto de la dinámica litoral, la cual se trata más adelante.

TABLA 3.2.1.1

PUERTO INDUSTRIAL DE SALINA CRUZ, OAXACA

ANALISIS ESTADISTICO DEL DRAGADO

AÑO	VOLUMEN REMOVIDO POR CADA DRAGA EN m ³ /AÑO							VOLUMEN TOTAL
	P. ALEMAN	S. CRUZ	COMPZA.	PAPALOAPAN	ATAHUALEPA	MAZATLAN	DONAJI I	
1961	370,449	117,143	409,715	-	-	-	-	897,307
1962	922,061	167,139	206,006	-	-	-	-	1'295,206
1963	824,653	199,507	-	105,680	-	-	-	1'129,840
1964	1'133,747	150,153	132,872	-	-	-	-	1'416,772
1965	613,661	214,234	319,518	37,376	-	-	-	1'184,789
1966	720,243	154,133	35,490	-	-	-	-	909,866
1967	855,210	103,343	427,756	16,519	42,000	-	-	1'444,828
1968	533,915	276,496	617,329	4,094	17,340	9,909	23,475	1'482,558
1969	74,304	397,304	439,476	175,203	-	-	34,898	1'121,367
1970	505,120	128,409	451,165	89,605	-	-	74,244	1'244,543

NOTA: Este dragado corresponde tanto al Antepuerto como a la Dársena, correspondiendo el 18.27% del dragado total a la Dársena y el resto al Antepuerto.

$$\Sigma = 12'127,076$$

$$\bar{X} = 1'212,708$$

$$(n-1) = 206,381$$

FUENTE: Estudio de Azolves en el Puerto de Salina Cruz, Oaxaca realizado por CIFSA Consultores para la Secretaría de Marina en el año de 1971; con datos proporcionados por la Dirección General de Dragados.

III.4.2.- CAMPAÑAS CON TRAZADORES RADIOACTIVOS

Este estudio es básicamente un análisis cualitativo de la dinámica litoral en el sitio, y consiste fundamentalmente en una serie de campañas llevadas a cabo por la Comisión Nacional de Energía Nuclear, el Laboratorio Nuclear de la UNAM y el Instituto de Geología, de la misma casa de estudios y por encargo - de la Compañía Consultores en Ingeniería Fluvio-marítima, S.A.

Las campañas fueron ejecutadas en 1971 en los días del 29 de julio al 4 de agosto la primera; del 11 al 19 de septiembre la segunda y del 6 al 18 de noviembre la tercera; siendo el procedimiento de las mismas el siguiente:

Se utilizó como material radioactivo el radioisótopo ^{198}Au , - cuya vida media es de 2.7 días, lo cual permitiría realizar - una campaña cada mes sin interferencia entre ellas mismas; el oro radioactivo fue preparado en el reactor Triga Mark III, - del Centro Nuclear de México y el material arenoso marcado fue extraído de los sitios del sembrado y tratado debidamente, para cumplir con las normas radiológicas internacionales.

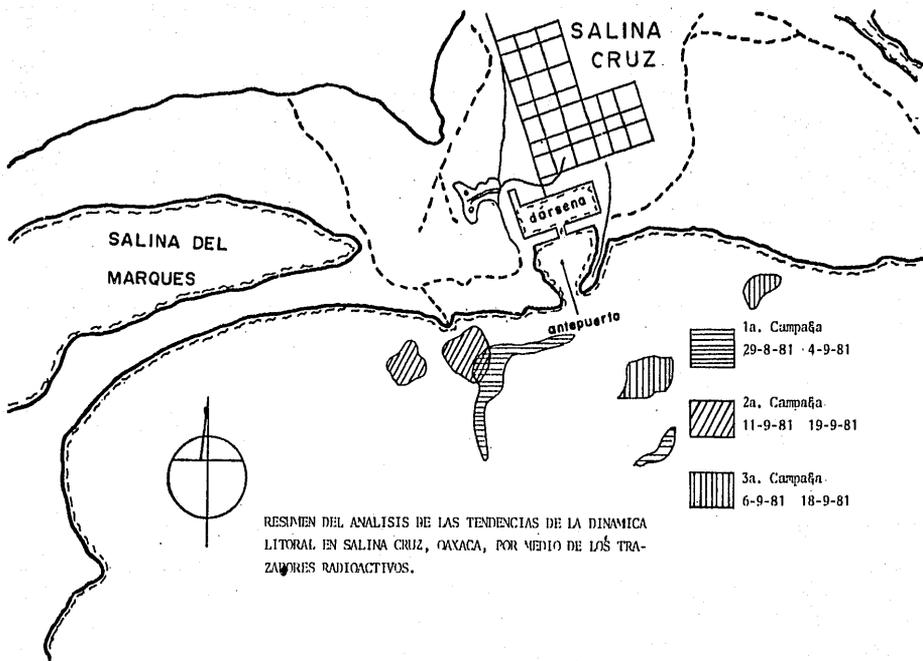
La técnica de inyección consistió en un sistema simple, por - medio de aire a presión; y el material fue rastreado utilizando un detector alojado sobre un trineo que se deslizaría sobre el fondo del mar y jalado por una embarcación navegando en zig zag,

asegurando así que se cubriera un área significativa de rastreo.

El resultado de este trabajo se muestra en la figura 3.1.2.1., la cual representa las tendencias del material sembrado, siendo esta figura altamente representativa de la dinámica litoral, ya que las envolventes trazadas indican solamente las actividades radiológicas altamente significativas (por encima de las 200 cuentas por segundo); siendo la actividad radiológica normal, variable entre 5 y 10 c.p.s., con máximos de 50. Sin embargo, y pese a la calidad de los trabajos realizados para este estudio, se puede considerar que tiene un inconveniente de bastante importancia, y es que las campañas se realizaron en período de calmas, restándose por lo tanto gran parte de la dinámica litoral inducida por la dirección y energía del oleaje, lo cual demerita en un alto grado esta fuente de información, en relación a nuestro estudio.

Las conclusiones que se obtuvieron de estas campañas son las siguientes:

La trayectoria del material sembrado en la primera campaña - (frente a Cola de Pato y a una profundidad de 18 m) mostró al principio una tendencia hacia el sur, esto es hacia mar adentro, pero posteriormente, se manifestó en una trayectoria franca hacia el puerto; después de 3 días de inyección, fue obser



RESUMEN DEL ANALISIS DE LAS TENDENCIAS DE LA DINAMICA LITORAL EN SALINA CRUZ, OAXACA, POR MEDIO DE LOS TRABAJOS RADIOACTIVOS.

vada una disgregación de material, consistente en una sucesión de manchas de 10 a 20 m. de diámetro, separadas entre sí unos 50 a 100 m. y con actividades de medias a altas (de 100 a 600 c.p.s.), estas manchas, no permitieron continuar el trabajo en forma muy precisa, por lo que se demeritó la información posterior.

La muestra sembrada en la segunda campaña se dividió en 2 inyecciones de material, ambas se colocaron el día 11 de septiembre a una profundidad de 10 m. y localizadas al Este y Oeste de Cola de Pato; ambas muestras se rastrearon normalmente durante 8 días, hasta perderse por la disgregación natural del material.

La inyección depositada al Oeste de Cola de Pato mostró poco movimiento aunque con tendencia a la dispersión.

La inyección hecha al Este de Cola de Pato mostró movimiento moderado, pero su tendencia final fue hacia el Este y hacia mar adentro.

La tercera campaña consistió en 2 inyecciones realizadas frente al sitio denominado playa abierta; ambas a una profundidad de 8.5 m. una de ellas cerca de la playa, las muestras fueron colocadas el día 6 de noviembre.

El material depositado no mostró movimiento ni dispersión sig
nificativos, ya que después de 13 días de la siembra todavía
se detectó bastante concentrado en las zonas de la inyección;
durante los días 16, 17 y 18 de noviembre se notó cierta ten
dencia del material hacia el Este, aunque en términos generaa
les permaneció casi en reposo.

III.4.3 CRITERIO DE LARRAS

Puede considerarse éste método bastante completo y muy utilizado para el cálculo del transporte litoral ya que involucra entre sus consideraciones teóricas el fondo marino, el material playero y la aceleración de la gravedad. El método está dado en las siguientes expresiones.

$$\emptyset s = K_g H_o^2 K_r^2 T \sin \left(\frac{7}{4} \alpha \right)$$

$$\emptyset s = \text{Transporte litoral en m}^3$$

K = Coeficiente que depende del tipo de playa y granulometría del material.

g = Aceleración de la gravedad (9.81 m./seg²)

T = Período del oleaje (seg.)

H_o = Altura de ola en aguas profundas (m)

t = Tiempo de acción del oleaje durante el año (seg.)

α = Angulo de incidencia del oleaje para esa dirección (grados).

Para este caso, K se estimó de la siguiente expresión:

$$K = 1.18 \times 10^{-6} (D_{50})^{-1/2} \left(\frac{L_o}{H_o} \right)$$

Donde:

D₅₀ = Diámetro medio del material

L_o = Longitud de la ola en aguas profundas

H_o = Altura de la ola en aguas profundas

Cálculo de las variables:

$T = 14$ segundos (Tablas de oleaje)

$$L_0 = \frac{T^2}{2}$$

$$L_0 = \frac{9.81 \text{ m/seg} (14 \text{ seg})^2}{2 \times 3.1416}$$

$$L_0 = 306 \text{ m.}$$

Ejemplo del cálculo del transporte litoral en la zona de Cola de Pato, -- en la dirección oeste.

De la tabla de análisis estadístico del oleaje podemos determinar los -- diferentes intervalos de alturas de olas, cada una con sus respectivos -- tiempos de acción (frecuencia) en ésta dirección, calculándose así para -- cada altura de ola y finalmente se suman los Q_s para obtener el gasto final en esa dirección.

Para el intervalo (0 - 1) m la altura promedio de la ola $H_0 = 0.5$.

$$K = 1.18 \times 10^{-6} (464)^{-1/2} \frac{306}{0.5} = 1.06016 \times 10^{-3}$$

La frecuencia $t = 1.17\%$ anual = 368,971 seg.

$$T = 14 \text{ segundos}$$

$$K_r = 0.142$$

$$= 18^\circ 30'$$

$$Q_s = K \cdot g \cdot T^3 \cdot H_o^2 \cdot K_r^2 \left(\sin \frac{7}{4} 18.5 \right) t$$

$$Q_s = 1.06016 \times 10^{-3} (9.81 \text{ m/seg}^2) (14 \text{ seg}) (0.5 \text{ m})^2 (0.142)^2$$

$$\sin \left(\frac{7}{4} 18.5 \right) (368,971 \text{ seg})$$

$$Q_s = 145.01 \text{ m}^3$$

Para el intervalo (1-2) m, la altura promedio de ola $H_o = 1.5$

$$K = 1.18 \times 10^{-6} (646)^{-1/2} \left(\frac{306}{1.5} \right) = 3.53889 \times 10^{-4}$$

$$\text{Frecuencia } 0.98\% = 309,052 \text{ seg.}$$

$$T = 14 \text{ segundos}$$

$$K_r = 0.142$$

$$= 18^\circ 30'$$

$$\emptyset s = 3.53889 \times 10^{-4} (9.81 \text{ m/seg}^2) (14 \text{ seg}) (0.142)^2$$

$$(1.5 \text{ m})^2 \left(\sin \frac{7}{4} 18.5 \right) 309,052 \text{ seg.}$$

$$\emptyset s = 364.39 \text{ m}^3$$

Para el intervalo de (2-3) m. la altura de ola

$$H_o = 2.5 \text{ m.}$$

$$K = 1.18 \times 10^{-6} (464)^{-1/2} \left(\frac{306}{2.5} \right) = 2.12033 \times 10^{-4}$$

$$\text{La frecuencia } t = 0.26\% = 81,893. \text{ seg.}$$

$$T = 14 \text{ segundos}$$

$$K_r = 0.142$$

$$18^\circ 30'$$

$$\phi_s = 2.12033 \times 10^{-4} (9.81 \text{ m/seg}^2) (14 \text{ seg}) (2.5 \text{ m})^2 (0.142)^2$$

$$\left(\text{Sen } \frac{7}{4} 18.30 \right) (81.893 \text{ seg}) =$$

$$\phi_s = 161.12 \text{ m}^3$$

Para el intervalo de (3-4) m la altura de ola $H_o = 3.5 \text{ m}$.

$$K = 1.18 \times 10^{-6} (464)^{-1/2} \left(\frac{306}{3.5} \right) = 1.51452 \times 10^{-4}$$

$$\text{La frecuencia } t = 0.06 = 18,921.6 \text{ seg.}$$

$$T = 14 \text{ seg.}$$

$$K_r = 0.142$$

$$= 18^\circ 30'$$

$$\phi_s = 1.51452 \times 10^{-4} (9.81 \text{ m/seg}^2) (14 \text{ seg}) (3.5 \text{ m})^2$$

$$(0.142) \left(\text{Sen } 7/4 18.3 \right) (18,921.6 \text{ seg})$$

$$\phi_s = 52.06 \text{ m}^3$$

Para el intervalo (4-6) m. la altura de ola es $5 \text{ m} = H_o$.

$$K = 1.18 \times 10^{-6} (464)^{-1/2} \left(\frac{306}{5} \right) = 1.06016 \times 10^{-4}$$

$$\text{La frecuencia } t = 0.02 = 6,307.2 \text{ seg.}$$

$$T = 14 \text{ segundos}$$

$$K_r = 0.142$$

$$= 18^{\circ}30'$$

$$\begin{aligned} \phi_s &= 1.06016 \times 10^{-4} (9.81 \text{ m/seg}^2) (14 \text{ seg}) (5 \text{ m})^2 \\ &(0.142)^2 (\text{Sen } \frac{7}{4} 18.5) (6307.2 \text{ seg}) \end{aligned}$$

$$\phi_s = 24.79$$

Para el intervalo (6-8)m la altura de ola $H_0 = 7 \text{ m}$.

$$K = 1.18 \times 10^{-6} (464)^{-1/2} \left(\frac{306}{7}\right) = 7.57262 \times 10^{-5}$$

La frecuencia $t = 0.01 = 3,153.6 \text{ seg}$.

$$T = 14 \text{ segundos}$$

$$K_r = 0.142$$

$$= 18^{\circ}30'$$

$$\begin{aligned} \phi_s &= 757262 \times 10^{-5} (9.81 \text{ m/seg}^2) (14 \text{ seg}) (7 \text{ m})^2 \\ &(0.142)^2 (\text{Sen } \frac{7}{4} 18.5) (3.153.6 \text{ seg.}) \end{aligned}$$

$$\phi_s = 17.35 \text{ m}^3$$

Finalmente realizado la sumatoria de cada uno de los gastos con su respectiva altura de ola, obtenemos que el cálculo del transporte litoral Oeste en la zona de Cola de Pato es igual a 764.72 m^3 anuales.

En las tablas 3.4.3.1 a 3.4.3.5 se pueden observar los resultados del transporte litoral en cada dirección incidente: Oeste, Suroeste Sur, Suroeste y Sur. En la tabla 3.4.3.6 se muestra el resumen anual del transporte litoral en Cola de Pato.

TABLA 3.4.3.1

PUERTO INDUSTRIAL DE SALINA CRUZ, OAXACA

CALCULO DEL TRANSPORTE LITORAL ANUAL OESTE, SEGUN LARRAS

INTERVALO DE CLASE H en m.	MARCA DE CLASE H en m.	$K = 1.18 \times 10^{-6} D^{-1/2} \frac{L_0}{H_0}$	FRECUENCIA (%)	Q_s $KgTHo^2Kr^2 \left(\text{sen } \frac{7}{4}\right) t$
0 - 1	0.5	1.06016×10^{-3}	1.17	145.01
1 - 2	1.5	3.53889×10^{-4}	0.98	364.39
2 - 3	2.5	2.12033×10^{-4}	0.26	161.12
3 - 4	3.5	1.51452×10^{-4}	0.06	52.06
4 - 6	5	1.06016×10^{-4}	0.02	24.79
6 - 7	7	7.57262×10^{-5}	0.01	17.35
			2.50	764.72

TABLA 3.4.3.2.

PUERTO INDUSTRIAL DE SALINA CRUZ, OAXACA

CALCULO DEL TRANSPORTE LITORAL ANUAL SUROESTE, SEGUN LARRAS

INTERVALO DE CLASE H en m.	MARCA DE CLASE H en m.	$K - 1.8 \times 10^{-6} D^{-1/2} \frac{L_o}{H_o}$	FRECUENCIA (%)	$\text{Kg} \frac{Q_s}{H_o^2 \text{Kr}^2} \left(\text{sen} \frac{7}{4} \right) t$
0 - 1	0.5	1.06016×10^{-3}	31.81	13,827.52
1 - 2	1.5	3.53389×10^{-4}	15.20	45,658.13
2 - 3	2.5	1.12033×10^{-4}	3.75	18,773.87
3 - 4	3.5	1.51452×10^{-4}	0.68	4,766.05
4 - 6	5	1.06016×10^{-4}	0.56	5,607.10
6 - 8	7	7.57262×10^{-5}	---	---
			34.00	88,632.67

TABLA 3.4.3.3

PUERTO INDUSTRIAL DE SALINA CRUZ, OAXACA

CALCULO DEL TRANSPORTE LITORAL ANUAL SUR, SEGUN LARRAS

INTERVALO DE CLASE H en m.	MARCA DE CLASE H en m.	$K = 1.18 \times 10^{-6} D^{-1/2} \frac{L_0}{H_0}$	FRECUENCIA (%)	Q_s $KgTHo^2Kr^2 \left(sem \frac{7}{4} \right) t$
0 - 1	0.5	1.06016×10^{-3}	14.0	17,605.52
1 - 2	1.5	3.53389×10^{-4}	33.54	125,725.95
2 - 3	2.5	2.12033×10^{-4}	5.48	34,236.58
3 - 4	3.5	1.51452×10^{-4}	1.16	10,146.01
4 - 6	5	1.06016×10^{-4}	0.33	4,123.36
6 - 8	7	7.57262×10^{-5}	--	--
			54.60	191,837.42

TABLA 3.4.3.4

PUERTO INDUSTRIAL DE SALINA CRUZ, OAXACA

CALCULO DEL TRANSPORTE LITORAL ANUAL SURESTE, SEGUN LARRAS

INTERVALO DE CLASE H en m.	MARCA DE CLASE H en m.	$K = 1.18 \times 10^{-6} D^{-1/2} \frac{L_0}{H_0}$	PRECUENCIA (%)	Q_s $KgTho^2Kr^2 \left(\text{sen } \frac{7}{4}\right) t$
0 - 1	0.5	1.06016×10^{-3}	3.67	-17,790.40
1 - 2	1.5	3.53389×10^{-4}	4.22	-61,370.00
2 - 3	2.5	2.12033×10^{-4}	0.62	-15,027.38
3 - 4	3.5	1.51452×10^{-4}	0.09	- 2,328.03
4 - 6	5	1.06016×10^{-4}	--	--
6 - 8	7	7.57262×10^{-5}	--	--
			8.60	-96,517.81

TABLA 3.4.3.5.

PUERTO INDUSTRIAL DE SALINA CRUZ, OAXACA

CALCULO DEL TRANSPORTE LITORAL ANUAL ESTE, SEGUN LARRAS

INTERVALO DE CLASE H en m.	MARCA DE CLASE H en m.	$K = 1.18 \times 10^{-6} D^{-1/2} \frac{L_0}{H_0}$	FRECUENCIA (%)	$KgTH_0^2 Kr^2 Q_s \left(\text{sen } \frac{7}{4} \right) t$
0 - 1	0.5	1.06016×10^{-3}	0.11	- 594.76
1 - 2	1.5	3.53389×10^{-4}	0.15	- 2,433.13
2 - 3	2.5	2.12033×10^{-4}	0.03	- 811.04
3 - 4	3.5	1.51452×10^{-4}	0.01	- 378.49
4 - 6	5	1.06016×10^{-4}	--	--
6 - 8	7	7.57262×10^{-5}	--	--
			0.30	- 4,217.42

Tabla 3.4.3.6

PUERTO INDUSTRIAL DE SALINA CRUZ, OAXACA

RESUMEN DEL TRANSPORTE LITORAL ANUAL SEGUN LARRAS

DIRECCION EN AGUAS PROFUNDAS	ANGULO DE INCIDENCIA EN GRADOS	COEFICIENTE DE REFRACCION ADIMENSIONAL	DIAMETRO MEDIO DEL MATERIAL EN mm.	TRANSPORTE DE SOLIDOS EN m ³ /AÑO
OESTE	189, 30'	0.142	0.464	764.72
SUROESTE	169, 30	0.425	0.464	88,632.67
SUR	49, 15'	0.917	0.464	191,837.42
SURESTE	- 189, 00'	0.890	0.464	-96,517.81
ESTE	- 289, 00'	0.790	0.464	- 4,217.42
Q NETO				180,499.58
Q TOTAL				381,970.04

III. 4.4 CONGRESO NACIONAL DE HIDRAULICA

Esta ponencia fué presentada en el congreso por el Dr. en Ingeniería Rolando Springall Galindo, la base del estudio es el análisis de una serie de trabajos que se llevaron a cabo con el objeto de determinar el arras tre litoral en las costas de la República Mexicana.

El estudio, dentro de la sofisticación de los diversos medios de evaluación del fenómeno, es de relativa simplicidad, ya que parte de la consideración más elemental de la ecuación de continuidad; por otra parte requiere del conocimiento de los parámetros tanto sedimentológicos, como oceanográficos y batimétricos, por lo que no es aplicable para todas las playas de la República Mexicana, dada la escasez de esta información.

Sin embargo, dado que en la zona del Puerto de Salina Cruz, Oaxaca se tienen ampliamente determinados este tipo de factores, este método se puede utilizar con cierta confiabilidad.

A grandes rasgos consiste en lo siguiente:

Dado que el transporte litoral principalmente tiene lugar en la zona de rompiente se puede establecer de acuerdo a la ecuación de continuidad:

$$Q_s = (Lr) (e) (Vs) \dots \text{ec. (1)}$$

donde:

Q_s = gasto sólido, en m^3/seg .

L_r = distancia de la línea de rompiente a la línea de playa, en m.

e = espesor de la capa de arena en movimiento, en m.

V_s = velocidad media de arrastre del material playero, en m/seg .

En vista de la aleatoriedad del fenómeno, los parámetros definidos anteriormente pueden ser muy variables, por lo que se buscaron expresiones que pudieran determinarlos, estas determinaciones consisten en lo siguiente:

El parámetro que define el rompimiento de la ola en su esbeltez, la cual se define como:

$$\delta = \frac{H_r}{d} \dots\dots ec \quad (2)$$

Aquí δ es la esbeltez de la ola, H_r la altura significativa en rompiente y "d" la profundidad en la rompiente.

Realizando la simplificación de la batimetría a una pendiente media m , la distancia de la profundidad en la rompiente es:

$$d = L_r \quad m \dots\dots ec \quad (3)$$

Por otra parte, de diversos muestreos se observó que un valor medio de la esbeltez de la ola en rompiente es de 0.67, por lo que sustituyendo este valor y la ec. 3 en la ec. 2 y despejando L_r , obtenemos.

$$L_r = \frac{H_r}{0.67 \text{ m}} \dots\dots\dots \text{ec (4)}$$

El valor del espesor de la capa de material se estimó de acuerdo con H.A. Einstein ("Waves on Beaches; a Basic Description of Sediment Transport on Beaches"; Academic Press, Inc. 1972), como sigue:

$$e = 2 D_{50} \dots\dots\dots \text{ec (5)}$$

Para poder determinar la velocidad media de arrastre del material, se realizaron algunos muestreos, los cuales se correlacionaron obteniéndose la siguiente expresión.

$$V_s = 0.34 V_c^{0.81} \dots\dots\dots (6)$$

En esta V_s es conocido

V_c en la velocidad de la corriente

De los muestreos se estimó que un criterio acorde para inferir la velocidad de la corriente conocidos los parámetros del oleaje, era el de Brunn, por lo que realizando un análisis por mínimos cuadrados se dedujo que una expresión apropiada es:

$$V_c = 0.90 V_B^{1.21} \dots \text{ec (7)}$$

Aquí V_B es la velocidad de la corriente según Brunn, por lo que si sustituimos la ecuación (7) en la (6) introduciendo el Criterio de Brunn ("Longshore Current Velocity: a Review of Theory and Data"; U.S. Army Coastas Engineering Research Center, R2-68; agosto 1967), tendremos:

$$V_s = 4.3 \text{ Hr}^{0.74} \left(\frac{m \text{ sen } 2\alpha}{T} \right)^{0.49} \dots \text{ec. (8)}$$

T es el período del oleaje

α es el ángulo de incidencia del mismo

Si sustituimos las ecuaciones (4), (5) y (8) en la ecuación (1) y operamos, nos queda finalmente la expresión teórica-empírica para valuar el -gasto sólido.

$$Q_s = 12.731 D \text{ Hr}^{7/4} \left(\frac{\text{sen } 2}{mT} \right)^{1/2} m^3/\text{seg}; \text{ o su equivalente}$$

$$Q_s = 1.1 \times 10^6 D \text{ Hr}^{7/4} \frac{\text{sen } 2}{mT}^{1/2} m^3/\text{día}$$

En la cual tenemos solo parámetros conocidos.

En la tabla III.4.4.1 se presenta el resumen de éste análisis.

TABLA III.4.4.1.
 PUERTO INDUSTRIAL DE SALINA CRUZ, OAXACA
 CALCULO DEL TRANSPORTE LITORAL ANUAL, SEGUN PONENCIA *

DIRECCION EN AGUAS PROFUNDAS	COEFICIENTE DE REFRACCION ADIMENSIONAL	ANGULO DE INCIDENCIA EN GRADOS	DIAMETRO MEDIO DEL MATERIAL EN m.	FRECUENCIA DE INCIDENCIA EN %	ALTURA DE OLA SIGNIFICANTE EN A.P. EN m.	TRANSPORTE LITORAL ANUAL EN m ³ /AÑO
OESTE	0.142	189, 30'	0.464×10^{-3}	2.50	2.106	738.36
SUROESTE	0.425	169, 30'	0.464×10^{-3}	34.00	2.124	66,054.72
S U R	0.917	49, 15'	0.464×10^{-3}	54.60	1.992	187,122.28
SURESTE	0.899	- 189, 00'	0.464×10^{-3}	8.60	1.779	- 46,577.30
ESTE	0.790	- 289, 00'	0.464×10^{-3}	0.30	2,000	- 1,915.26
					Q NETO	205,422.80
					Q TOTAL	302,407.92

* Presentada al IV Congreso Nacional de Hidráulica por el Dr. en Ingeniería Rolando Springall Galindo.

NOTA: El período utilizado fue de $T = 14$ seg., por ser éste altamente significativo de las condiciones del sitio.

La pendiente utilizada fue $m = 0.025$, medida en el sitio de la evaluación del transporte litoral, esto es en Cola de Pato.

III. 4.5 CUANTIFICACION TEORICA RETROSPECTIVA

El mismo estudio realizado en 1971, tiene un capítulo dedicado a la Dinámica Litoral, que consta de 2 incisos denominados Transporte Litoral y Transporte en Masa, respectivamente.

El transporte litoral teórico fue evaluado en base a la expresión.

$$Q_s = K g T H^2 \sin 2\alpha ; \text{ en donde:}$$

$$Q_s = \text{Transporte litoral en m}^3/\text{seg.}$$

$$K = \text{Coeficiente que depende del tipo de playa y granulometría del material.}$$

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

$$T = \text{Período del oleaje.}$$

$$H = \text{Altura de ola a la profundidad de rompiente}$$

$$\alpha = \text{Angulo de incidencia del oleaje}$$

Para este caso K se estimó con la expresión:

$$K = 1.18 \times 10^{-6} (D_{50})^{-1/2} \left(\frac{L_o}{H_o}\right); \text{ en donde:}$$

$$D_{50} = \text{Diámetro medio del material}$$

L_o = Longitud de onda en aguas profundas

H_o = Altura de la ola en aguas profundas

Tomando datos de diagramas de refracción y combinándolas con los resultados del análisis de oleajes, se procedió a dividir la región aledaña al puerto en 5 zonas, localizadas según se describe a continuación:

Zona 1. Al centro de la Bahía Salina del Marqués

Zona 2. Al oeste de Cola de Pato

Zona 3. Entre Cola de Pato y el Espigón de Puertos Libres

Zona 4. Entre el Espigón de Puertos Libres y el Rompeolas Oeste.

Zona 5. Al Este del Rompeolas Este.

La representación gráfica del transporte litoral se muestra en la figura 3.4.5.1, asimismo, en la tabla 3.4.5.1 se presenta el resumen de este análisis teórico.

Al igual que en el caso de los trazadores radioactivos, este estudio podría tener un inconveniente de bastante consideración, y es que los datos de oleaje utilizados debieron necesariamente, ser de carácter general, perdiéndose con ésto la precisión en el cálculo teórico.

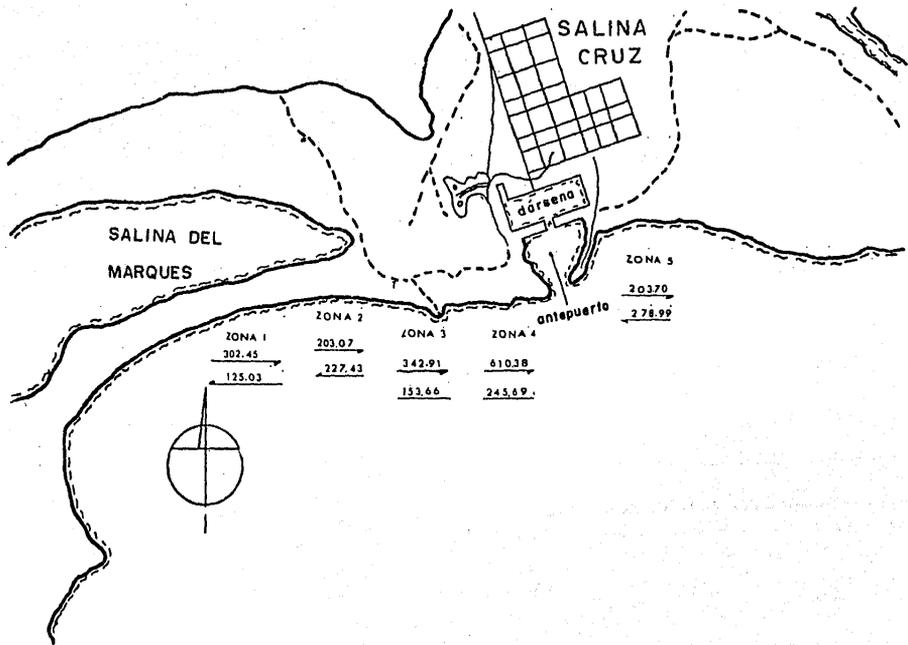
Sin embargo, pese al carácter general del análisis, esta fuente de información representa un fuerte apoyo para los estudios del proyecto del Puerto Industrial y Comercial de Sanlina Cruz, Oaxaca.

TABLA 3.4.5.1.

PUERTO INDUSTRIAL DE SALINA CRUZ, OAXACA

PERIODO ESTACIONAL	DIRECCION		TRANSPORTE POR ZONA, PERIODO Y DIRECCION; EN m ³				
	DE FLUJO		ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5
PRIMAVERA	E	W	16,518	29,919	20,408	33,988	39,823
	W	E	82,116	53,476	101,571	160,260	57,333
	TOTAL		98,634	83,395	121,979	194,248	97,156
VERANO	E	W	44,067	78,688	51,280	101,959	129,043
	W	E	122,553	78,787	132,635	264,849	87,210
	TOTAL		166,620	157,475	183,915	366,808	216,253
OTOÑO	E	W	43,858	79,919	53,274	83,905	94,624
	W	E	55,850	45,806	71,626	107,345	37,693
	TOTAL		99,708	125,725	124,900	191,250	132,317
INVIERNO	E	W	20,590	38,905	28,697	25,842	15,496
	W	E	41,927	25,024	37,075	77,835	21,460
	TOTAL		62,517	63,929	65,772	103,677	36,956
ANUAL	E	W	125,033	227,431	153,659	245,694	278,986
	W	E	302,446	203,093	342,907	610,289	203,696
	TOTAL		427,479	430,524	496,566	855,983	482,682

FUENTE:- Estudio de Azolves en el Puerto de Salina Cruz, Oaxaca.
Realizado por CIFSA Consultores para la Secretaría de
Marina en el año de 1971.



Con lo analizado hasta este punto, ya podemos explicarnos el dato medio de dragado en el Puerto, que según obtuvimos en el reporte de dragados fue del orden de $1'200,000 \text{ m}^3/\text{año}$.

Originalmente, se planteó que el material dragado había sufrido un abundamiento y mezclado con agua que se estimó del orden del 30%, lo cual equivaldría a un volumen de azolve de unos $920,000 \text{ m}^3/\text{año}$; ahora el análisis teórico arroja datos de transporte hacia el puerto de $610,000$ provenientes de la dirección oeste y $279,000$ del este, lo cual nos da un volumen total de $890,000 \text{ m}^3/\text{año}$, dato éste, congruente con aquél.

III. 4.6 CUANTIFICACION DIRECTA, COLA DE PATO

Siendo del conocimiento de la Dirección General de Obras Marítimas el problema del transporte litoral en Salina Cruz, se construyó un espigón en la zona de Cola de Pato, al oeste del puerto actual, con objeto de retener el transporte de sedimentos para aliviar el problema de azolvamiento en el puerto actual.

El espigón tiene una longitud aproximada de 200 m. y alcanza una profundidad de -5 m. se construyó a base de roca lo cual lo hace impermeable al paso de los sedimentos y fuera de la zona de rompiente retiene prácticamente todo éste.

Entre enero de 1979 y enero de 1980 se evaluó el volumen de azolvamiento

empleando un levantamiento batimétrico antes y después y utilizando el planímetro obtuvimos el volumen de azolvamiento de 140,000 m³/año. Es te valor, más que un número ; representa una estimación cualitativa del fenómeno ya que en términos generales y debido a diversos factores, ca recen de validez para evaluar el transporte litoral.

III.4.7 CUANTIFICACION TEORICA PROBABILISTICA

Para poder trabajar probabilísticamente la información del transporte litoral, fue necesario contar con una serie de muestreos teóricos de la información, esto se logró implementando un modelo de simulación y trabajándolo en computadora; la figura 3.4.7.1 muestra el diagrama de flujo del programa, cuyo mecanismo es el siguiente:

Tomando como base el resumen del análisis de oleajes en la zona y relacionándolo con el diagrama de flujo del programa (figura 3.4.7.1), podemos explicar el significado de los parámetros fundamentales del modelo.

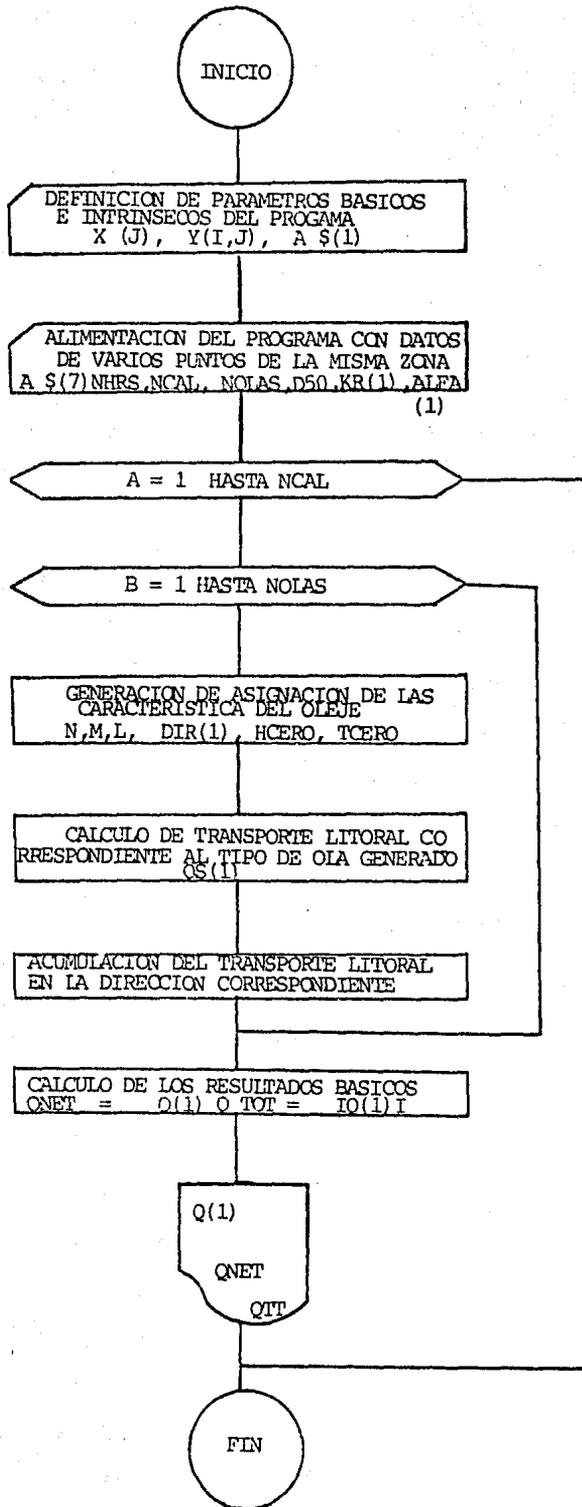
La variable $X(J)$ contiene los límites de los intervalos de clase de las alturas y períodos de ola, correspondiendo los 7 primeros a la altura y 6 al período, respectivamente.

La variable $Y(I,J)$, contiene los límites de los intervalos de clase por altura y por período para cada dirección, según la frecuencia relativa con que se presentaron, según la figura 3.4.7.1.

La variable $DIR(I)$ contiene las frecuencias absolutas de dirección del oleaje.

La variable $A\$(I)$ contiene los caracteres alfanuméricos de las direcciones que pueden incidir en la playa.

FIGURA 3.4.7.1



La variable AS(7) identifica el carácter alfanumérico del período a analizar, que puede ser mensual, trimestral, anual, etc.

La variable NHRS identifica el número de horas del anterior período.

La variable NCAL identifica el número de muestreos teóricos que se obtendrán por cada corrida.

La variable NOLAS identifica el número de olas utilizadas para evaluar cada muestreo teórico.

La variable D50 identifica el diámetro medio del material playero que se utilizó para la cuantificación del fenómeno.

La variable KR(1) contiene los coeficientes de refracción, obtenidos de los planos respectivos.

La variable ALFA(I) contiene los ángulos de incidencia correspondientes, de los planos de refracción.

Las variables N, M y L son 3 números aleatorios que corresponden a dirección, altura y período de oleaje en aguas profundas, respectivamente: N, M y L se localizan entre 1 y 100.

La variable Q(I) contiene la evaluación del transporte litoral generado según y por cada dirección del oleaje.

Con lo anteriormente expuesto, es fácil comprender la mecánica del modelo, que es la siguiente:

Para obtener un muestreo, se generan tantas ternas de números aleatorios entre 1 y 100, como número de olas se quiere que tenga el muestreo; el número N se compara con la frecuencia absoluta de las direcciones, asignándose así la dirección de la ola; el número M se compara con las frecuencias relativas de la altura del oleaje para la dirección determinada, asignándose así la altura de esa misma ola; finalmente el número L se compara con las frecuencias relativas del período para la misma dirección, asignándose así el período de la ola.

Una vez determinada la primera ola del primer muestreo, se evalúa utilizando la expresión de LARRAS.

$$Q_s = K g T H_o^2 K_r^2 t \sin \left(\frac{7}{4} \text{ALFA} \right); \text{ en donde:}$$

$$Q_s = \text{transporte litoral en m}^3$$

$$K = \text{Coeficiente que depende del tipo de playa y granulometría del material.}$$

$$g = \text{aceleración de la gravedad} = 9.81 \text{ m/seg}^2$$

$$T = \text{período del oleaje (seg).}$$

$$H_o = \text{altura de ola en aguas profundas (m)}$$

$$t = \text{tiempo de acción del oleaje durante el año (seg.)}$$

$$\text{ALFA} = \text{ángulo de incidencia del oleaje para esa dirección (grados)}$$

Para valuar K se utilizó la siguiente expresión:

$$K = 1.18 \times 10^{-6} (D50)^{-1/2} \left(\frac{L_o}{H_o}\right); \text{ en donde:}$$

D50 = diámetro medio del material de arrastre (mm)

L_o = longitud de onda del oleaje en aguas profundas

H_o = altura de la ola en aguas profundas

Realizada la cuantificación de la primera ola, el transporte litoral se acumuló en la dirección respectiva, comenzando el ciclo con la generación de la segunda ola del primer muestreo.

Terminando el número de olas, se determinó el transporte litoral neto y total del muestreo, los cuales se identifican con las variables QNET y QTT respectivamente, procediendo después de este paso a la corrida del segundo muestreo; se continuó con este procedimiento hasta obtener resultados que se consideraron satisfactorios.

Este tipo de análisis se realizó tomando 4 puntos a lo largo de la región, considerando que en base a éstos se puede determinar la dinámica litoral de la misma: "Cola de pato", Bahía la Ventosa, Colonia Cuauhtémoc y Laguna Quina.

Los datos de diámetro del material, coeficientes de refracción, ángulos de incidencia del oleaje y período del oleaje fueron los mismos que por los anteriores métodos.

Para cada sitio elegido se realizaron 3 tipos de muestreo, el primero co rrespondió a 100 muestreos de 100 cada uno; el segundo a 10 muestreos de 1000 olas cada uno y el tercero a un solo muestreo de 10,000 olas.

Finalmente, en la tabla 3.4.7.1 se muestran comparativamente los resultados cualitativos, y cuantivos de los diversos criterios.

Comparativamente, podemos observar algunas discrepancias entre los criterios, pero haciendo un análisis detenido de la procedencia de estos valores, podemos concluir que el valor mas cercano a la realidad lo proporcio na el criterio de la cuantificación teórica probalística. Esto se debe a que éste criterio toma en cuenta la mayoría de las variables que pueden intervenir en los procesos litorales que sobre todo a la forma en que plantea su modelo de aplicación.

TABLA 3.4.7.1
 PUERTO INDUSTRIAL DE SALINA CRUZ, OAXACA

RESULTADOS DE DIFERENTES ESTUDIOS DEL TRANSPORTE LITORAL EN SALINA CRUZ, OAXACA.

E S T U D I O	TRANSPORTE LITORAL ESTIMADO			
	OESTE-ESTE	ESTE - OESTE	NETO	TOTAL
REPORTE DE DRAGADOS (CUANTITATIVO)	-	-	-	1'212,700
TRAZADORES RADIOACTIVOS (CUALITATIVO)	Positivo	-	-	-
ANALISIS TEORICO RETROSPECTIVO	342,907	153,659	189,248	496,566
CUANTIFICACION DIRECTA ESPIGON (79-80)	-	-	141,071	-
<u>ANALISIS TEORICO PROBABILISTICO</u>	<u>318,263</u>	<u>100,897</u>	<u>217,366</u>	<u>419,160</u>
LARRAS	281,235	100,735	180,500	381,970
PONENCIA DEL IV CONGRESO NACIONAL DE HIDRAULICA	253,915	48,493	205,423	302,408

PUERTO INDUSTRIAL DE SALINA CRUZ LONGITUD AZOLVADA DEL ROMPEOLAS OESTE PARA
DIFERENTES TIEMPOS

TIEMPO (AÑOS)	z^2 D (m ³)	D (m)	Z (m)
1	46,444.44	6.08	87.40
3	139,333.33	7.71	134.43
5	232,222.22	8.52	165.12
10	464,444.44	9.96	215.93
20	928,988.88	11.77	280.96
50	2 232,222.22	13.78	410.52

Fórmula de Bozen

$$t = \frac{z^2}{4} \frac{D}{Q_s}$$

donde:

t = tiempo de llenado

z = longitud del rompeolas

D = profundidad del morro

= ángulo de incidencia del oleaje

Q = transporte litoral neto

CAPITULO IV

DIMENSIONAMIENTO DE LOS ROMPEOLAS DE ENRROCAMIENTO

Las estructuras de protección playera de talud, pueden ser construídas de diversos materiales, sin embargo generalmente están compuestas de varias capas de elementos colocadas al azar, protegidas con una cubierta de unidades seleccionadas que forman la coraza y que pueden ser piedras de banco o bien unidades de concreto. Estas unidades pueden colocarse de una manera ordenada para obtener una buena acción de trabazón entre ellas o pueden colocarse al azar.

Generalmente, la disposición de dichas capas es como la mostrada en la figura 4.1. El diseño de este tipo de estructuras consiste generalmente en la determinación de los siguientes puntos:

- Elevación de la corona
- Elevación de las capas subyacentes
- Ancho de las coronas
- Espesores de las capas
- Pesos de los elementos constitutivos de la coraza y rangos aceptables
- Pesos de los elementos interiores y rangos aceptables

Estos pueden dividirse de la siguiente manera: los cuatro primeros se pueden encuadrar dentro de lo que se podría llamar dimensionamiento de la estructura, en tanto que los dos últimos caerían dentro de lo que es la

estabilidad de la misma.

Un primer paso en el diseño consiste en la selección de la ola de diseño, en la que hay que combinar el aspecto estructural con el aspecto económico. Una obra puede diseñarse para que resista el embate de cualquier ola que pudiera presentarse pero esto traería con ello un aspecto negativo desde el punto de vista económico. Generalmente conviene aceptar una ola con una frecuencia de ocurrencia mayor, pensando en que se podrían tener daños leves. Por ello es recomendable el uso de la ola significativa o un oleaje de frecuencia mayor aunque en algunas ocasiones cuando la profundidad de diseño frente a la estructura es semejante a la profundidad de rompiente.

IV.1 CARACTERISTICAS DEL OLAJE

Las olas generadas por viento producen la fuerza más crítica a la cual se encuentran sujetas las estructuras costeras. Una estructura expuesta a la acción del oleaje debe diseñarse para soportar los efectos de la ola máxima esperada si su diseño se justifica económicamente. Las características del oleaje se determinan primeramente, en aguas profundas y posteriormente se propagan hasta la estructura. La altura de ola significativa en aguas profundas, H_s , y el período significativo, T_s , pueden determinarse si son conocidas, la velocidad del viento, su duración, profundidad de agua (batimetría), y longitud del Fetch.

El parámetro altura de ola, normalmente obtenido por medio de un análisis

estadístico de las cartas sinópticas del tiempo, será la altura de ola significativa, H_s . Expresado en términos del espectro del oleaje normal, en la naturaleza, H_s , posteriormente puede relacionarse aproximadamente con otros parámetros dentro del espectro, como se muestra a continuación:

$H_{1/3}$ o, H_s = Altura promedio del tercio superior de todas las olas.

$1.27 H_s$ H_{10} = Altura promedio del 10% superior de todas las olas.

$1.67 H_s$ H_1 = Altura promedio del 1% superior de todas las olas

IV.1.1 PARAMETROS DEL OLEAJE

Todos los datos de oleaje recoilados y aplicables a un determinado proyecto, deberán evaluarse pues posiblemente se empleen como criterio de diseño. Las observaciones visuales de olas ciclónicas, aunque son difíciles de confirmar, pueden proporcionar una indicación de la altura de ola, período, duración de la tormenta, frecuencia y especialmente dirección. Se ha progresado en la fabricación de aparatos de medición de altura y período de las olas; sin embargo, estos aparatos no indican la dirección del oleaje, que generalmente es necesaria para el diseño. En aquellos lugares donde se han obtenido datos estadísticos confiables del oleaje en

aguas profundas, estos deben emplearse para determinar características del oleaje en aguas reducidas.

IV.1.2 SELECCION DE LA OLA DE DISEÑO

La selección de la ola de diseño depende de que la estructura vaya a estar sujeta al ataque de olas antes de romper, en rompiente o después de haber roto (olas rotas). Después de conocer y seleccionar las características del oleaje en el sitio, el siguiente paso es determinar si la altura del oleaje en el lugar esta controlada por la profundidad de agua.

Si la profundidad de agua no controla la altura del oleaje, entonces existirá una condición de oleaje no rompiente. En este caso, debe basarse la selección de la ola de diseño en un parámetro estadístico seleccionado con el tipo de estructura, rígida, semirígida o flexible. En una forma práctica la ola de diseño se selecciona de la siguiente forma: para estructuras rígidas, como muros en cantiliver de tablestaca de acero, donde una ola alta dentro del tren de olas puede causar la falla de la estructura, la ola de diseño deberá basarse generalmente en H_1 , que es la altura promedio del 1% de las olas más altas; para estructuras semirígidas, la ola de diseño debe seleccionarse dentro de un rango de H_{10} a H_1 ; las estructuras a base de celdas de tablestaca de acero son semirígidas y pueden absorber considerables cantidades de esfuerzo, y por lo tanto se puede emplear una ola de diseño H_{10} ; para estructuras flexibles, como son las de enrocamiento, la ola de diseño deberá ser la ola signifi-

canté, H_s , excepto en casos extraordinarios. Los efectos de olas mayores que H_s , excepto en casos extraordinarios. Los efectos de olas mayores que H_s , sobre estructuras flexibles de este tipo, se desconocen. Aún cuando una piedra o un elemento prefabricado de coraza sea movido por una ola de mayor altura, la acción sucesiva de olas menores la reacondará.

Los daños en una estructura de enrocamiento son progresivos, y normalmente se requiere de un período amplio de acción del oleaje destructivo para que la estructura cese de proporcionar una protección adecuada. Por lo tanto es necesario en cuanto a economía se refiere, considerar la frecuencia de oleaje que causa daños, al seleccionar la ola de diseño, por ejemplo, en las costas del Atlántico y del Golfo, los huracanes no proporcionan la base de las condiciones de diseño, debido a que su frecuencia de incidencia en un lugar específico es de 1 vez por cada 20 a 100 años. En este caso muy probablemente sería antieconómico construir una estructura establece para todas las condiciones, por lo cual H_s sería una selección más práctica. En la consta de E.E.U.U. del Pacífico Norte el patrón del tiempo es más uniforme, y las tormentas de intensidad severa ocurren varias veces cada año. El uso de H_s como altura de ola de diseño en estas costas, puede dar como resultado grandes daños anuales originados por olas mayores que H_s , y por lo tanto el mantenimiento será más frecuente. En tal caso una ola de mayor altura, del orden de H_{10} , sería más recomendable. La Selección entre H_s y H_{10} se basa en los siguientes factores:

- (a) efectos que producen daños en la estructura sobre áreas protegidas,
- (b) frecuencia de mantenimiento; (c) disponibilidad de materiales para

coraza; (d) comparación entre costo de mantenimiento y la amortización de un costo inicial mayor. La selección de la altura de ola de diseño también debe tomar en consideración si la estructura va a estar sujeta al ataque de olas en rompiente. En el pasado se consideró que una estructura localizada en una profundidad de agua, d (respecto al nivel de diseño), donde $d \approx 1.3 H$ y H = altura de ola de diseño, se vería sujeta a olas rompientes. Un estudio posterior del proceso de rompimiento de una ola nos indica que este criterio no es necesariamente válido. El punto de rompiente de una ola se define generalmente como la posición donde aparece primeramente espuma sobre la cresta de la ola, donde la parte frontal de la ola empieza a ser vertical, o donde la cresta de la ola se empieza a enrizar sobre su cara frontal. Luego entonces se ve claro que el punto de rompiente es un punto intermedio en el proceso de rompimiento, entre el estado o etapa de inestabilidad y la zona de rompimiento completo. Por lo tanto, la profundidad que inicia el proceso de rompimiento, dando como resultado que la ola rompa directamente contra la estructura, realmente se encuentra a alguna distancia mar adentro de la estructura.

Hedar ha sugerido que el proceso real del rompimiento de una ola se extiende a través de una distancia igual a la mitad de la longitud de ola en aguas reducidas; esta longitud de ola es función de la profundidad de agua en esa distancia mar adentro. Sobre pendientes relativamente planas, la altura resultante de una ola rompiendo contra la estructura variará solamente una pequeña cantidad en relación con la profundidad de agua que se tiene en la base de la misma, mientras que en una pendiente diga-

mos 1:15 podrá incrementarse la altura de ola rompiente desde un 20 hasta un 80 por ciento dependiendo de la longitud de la ola o su período. Los estudios de Galvín indican la existencia de una relación entre la distancia de viaje o recorrido de una rompiente después de haberse reventado y la altura de la ola en la rompiente, H_b . Los resultados preliminares indican que una rompiente violenta efectúa su proceso de rompimiento sobre una zona que se extiende hacia la costa en una longitud aproximada de 6 a 7 veces la altura de la ola desde el punto inicial de rompiente. Tomando en consideración los estudios de Hedar y Galvín se sugiere que hasta que se realicen estudios posteriores, la determinación de la ola de diseño para condiciones de ola en rompiente se base sobre una profundidad de agua aproximada de siete alturas de rompientes, H_b .

Cuando se diseña para condiciones de ola en rompiente, es costumbre despreciar las olas más grandes que rompen antes de alcanzar la estructura, basándose en la suposición de que la fuerza máxima destructiva se deberá a la acción de la ola que rompe completamente sobre dicha estructura. De ahí que, cuando la profundidad de diseño frente a la estructura (a una distancia igual a siete alturas de rompiente) es igual o menor que $1.3 H_b$ la profundidad predomina en la selección de la ola de diseño. Cuando la profundidad de diseño es tal que queda entre $1.3 H_b$ y $1.3 H_1$, algunas olas romperán en la estructura, pero con una frecuencia decreciente conforme la profundidad, d , se aproxima a $1.3 H_1$. Cuando la profundidad de diseño $d < 1.3 H_{10}$, es preferible emplear una ola rompiente con $H_b = 0.78 d$ como ola de diseño.

Debido a que a lo largo de las costas del Atlántico, del Golfo y del Pacífico, solamente se dispone de datos estadísticos del oleaje para condiciones de aguas profundas ($d = L_0/2$), es necesario aplicar el análisis de refracción para determinar las características del oleaje en el sitio de la estructura. En aquellos lugares donde la plataforma continental es relativamente amplia y poco profunda, como en el Golfo de México, es conveniente considerar relativamente una gran pérdida de energía debido a la fricción del fondo.

A continuación se presentan los procedimientos generales que se siguen, empleando los diagramas de refracción, para determinar el desarrollo de la altura y dirección de la ola de diseño:

Para la zona en estudio, dibuje un grupo de abanicos de refracción para las diferentes olas que puedan presentarse en el lugar (usar incrementos de 2 segundos) g , determina coeficientes de refracción por medio del método explicado. Tabule los coeficientes de refracción así determinados para los diferentes períodos de oleaje escogidos y para cada dirección de incidencia en aguas profundas.

Los datos estadísticos de oleaje que se deriven de cartas sinópticas del tiempo o de alguna otra fuente, deberán revisarse para determinar si se presentaran frecuentemente aquellas olas que tienen coeficientes de refracción altos.

TABLA 4.1.2.1
 DETERMINACION DE ALTURA DE OLA DE DISEÑO

DIRECCION	ALTURA DE OLA SIGNIFICANTE EN AGUAS PROFUNDAS	PERIODO DE OLEAJE	COEFICIENTE - DE REFRACCION Y DE FONDO REDUCIDO*	ALTURA DE OLA REFRACTADA
(1)	(2) (m)	(3) seg	(4)	(5)
w	5.0	14	0.95 **	4.75

* Coeficiente de refracción $K_r = b_o/b$
 Coeficiente de fondo reducido $k_s = H/H_o$

** Altura de ola significativa seleccionada

Las columnas 1, 2 y 3 son datos estadísticos de oleaje de cartas sinópticas del tiempo.

La columna 4 se determina por la relación de distancias entre dos ortogonales adyacentes en aguas profundas (b_o) y aguas reducidas (b) y el coeficiente de fondo reducido.

La columna 5 es la multiplicación de la columna 4 por la 2.

IV.2. ESTABILIDAD DE ESTRUCTURAS DE ENROCAMIENTO

Una estructura de enrocamiento del tipo comunmente empleado para proporcionar protección contra el oleaje, esta compuesta de un pedraplén construído al volteo, protegido con una coraza de piedras seleccionadas o elementos de concreto de formas especiales. Estos elementos prefabricados, se colocan en forma ordenada en la coraza para obtener un grado de trabazón entre cada elemento, o bien pueden descargarse al azar simplemente. Para cualquier procedimiento de colocación es imposible en la actualidad, determinar por métodos rigurosamente analíticos, las fuerzas que se requieren para que se desplacen los elementos prefabricados de una coraza. Cuando las olas ejercen una fuerza suficiente sobre una estructura, produciendo un desplazamiento de los elementos de la coraza, también es imposible determinar teóricamente si una gran área de ésta se desplazará en masa talud abajo, o, si serán suspendidos y rodados ya sea hacia arriba o hacia abajo del talud, solamente algunos elementos de la coraza.

Cuando olas de corto período (de gravedad) inciden sobre una estructura de enrocamiento, pueden: (a) romper completamente, proyectando un chorro de agua aproximadamente perpendicular al talud; (b) romper parcialmente produciendo un chorro no muy definido, o (c) establecer un movimiento oscilatorio de las partículas del agua, hacia arriba o hacia abajo del talud de la estructura, en una forma similar al movimiento de un clapotis en un muro vertical. Por lo tanto se puede observar que cuando las olas

atacan una estructura de enrocamiento, la interacción resultante de las fuerzas causadas por el movimiento del agua inductor del oleaje y la acción resistente de los elementos de la coraza, presentan un panorama extremadamente complejo.

Hasta el principio de la tercera década de este siglo, el diseño de las estructuras de enrocamiento estuvo en gran parte basado en la experiencia y conocimiento de las condiciones especiales de un lugar específico. Se han realizado esfuerzos para racionalizar el diseño de este tipo de estructura, procurando observar y analizar fallas y buscando determinar las constantes por aplicar a diferentes parámetros, en un intento por darle una explicación a estas fracturas.

Debido a la naturaleza empírica del desarrollo de estas fórmulas, están expresadas generalmente en función del peso de piedra requerido para soportar las características de la ola de diseño. Sin embargo, aún representan solamente una guía y no pueden ser empleadas a ciegas. No han tenido éxito algunos intentos realizados para determinar por medio de un análisis teórico, las características de estabilidad de estas estructuras, cuando se encuentran bajo la acción de olas de tormenta. No obstante, se han desarrollado métodos empíricos los cuales, si se emplean con precaución, puede esperarse que proporcionen resultados satisfactorios.

IV.2.1 ELEMENTOS Y TALUD DE LA CORAZA

Iribarren, presentó fórmulas para el diseño de estructuras de enrocamiento en 1938 y 1950.

Estas fórmulas permiten calcular el talud y el peso de las piedras sobre la superficie del agua.

Sin embargo en estas fórmulas el coeficiente no es adimensional, y no fué posible correlacionar los resultados con los escasos datos obtenidos con anterioridad.

En 1952, Hudson modificó la fórmula de Iribarren empleando las mismas suposiciones y diagramas de fuerzas para obtener un coeficiente adimensional. En 1958, Hudson amplió este trabajo hasta desarrollar una fórmula nueva para determinar los elementos de la corteza. Esta nueva fórmula es el resultado de una intensa investigación por parte de la Estación Experimental de Vías Navegables del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los E.E.U.U. y mostró que la fórmula modificada de Iribarren tiene ciertas limitaciones las cuales la hacen algo insatisfactoria en cuanto a su uso, al correlacionar datos de estabilidad a partir de experimentos efectuados en estructuras de enrocamiento a pequeña escala. La ecuación de Hudson se basa en resultados de años de experimentación en modelos y en verificaciones sobre datos de prototipos. La fórmula de estabilidad desarrollada para determinar el peso de los elementos de la coraza de una

estructura de enrocamiento es

$$W = \frac{w_r H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \alpha} \quad (\text{Ec. 1})$$

donde

W = peso del elemento de la coraza en lbs.

w_r = peso unitario de los elementos de la coraza (seco), en lbs/pie³.

H = altura de ola de diseño en el sitio de la estructura (ver sección 4.1)

S_r = gravedad específica de los elementos de la coraza, relativa al agua donde se encuentra la estructura

$$(S_r = \frac{w_r}{w_w})$$

w_w = peso unitario del agua; agua dulce = 62.4 lbs/pie³, agua de mar = 64.0 lbs/pie³

α = ángulo que forma el talud de la estructura con respecto a la horizontal, en grados.

K_D = coeficiente que varía principalmente debido a la forma de los elementos, a su rugosidad, agudeza de aristas e interconexión de los elementos obtenida al colocarlos.

El talud de la primera capa (coraza) se determina en base al tamaño de -- piedras disponibles en la cantera. Sin embargo no es recomendable, un

talud de coraza mayor que 1:1.5.

La ecuación (1) proporciona un medio para determinar el peso de elementos de coraza con un tamaño relativamente uniforme, mientras que para una coraza de piedra graduada (9), la ecuación debe modificarse como se muestra a continuación:

$$W_{50} = \frac{w_r H^3}{K_{RR} (S_r - 1)^3 \cot \alpha} \quad (\text{Ec. 2})$$

donde los símbolos representan lo mismo que en la ecuación 4-32 excepto que W_{50} es el peso de las piedras que corresponden con el 50% de la graduación.

El peso máximo de piedra es $3.6 W_{50}$ y el mínimo $0.22 W_{50}$; K_{RR} es el coeficiente de estabilidad similar a K_D excepto que $K_{RR} = 1.3$ para profundidades al pie de la estructura menores a 20 pies y $K_{RR} = 1.7$ para profundidades mayores a 20 pies, permitiendo daños del 5%.

En general, las corazas de piedra graduada se emplean más bien en "revestimientos" que en rompeolas o escolleras. La única limitación en el uso de piedras graduadas es que son revestimientos económicos cuando se trata de proteger contra alturas de ola menores a 5 pies. Para olas mayores de 5 pies, se considera más económico usar elementos de coraza de tamaño uniforme (ecuación 1).

IV.2.2 SELECCION DEL COEFICIENTE K_D

Los diferentes valores del coeficiente adimensional K_D que aparece en la ecuación 4-32 no toman en cuenta, el talud, la altura de ola, el peso volumétrico de los elementos de la coraza y el fluido en el cual se colocan; las variables que influyen en los valores de K_D son, la forma de los elementos de coraza, el grado de interconexión y la forma del oleaje en el momento de actuar sobre la estructura. Hasta el momento esta ecuación no considera el ángulo de incidencia del oleaje aunque la experiencia ha demostrado que éste puede ser un factor importante especialmente cuando las olas rompen sobre la estructura, a la fecha no hay bases para valorarlo. La Estación Experimental de Vías Navegables ha realizado numerosas pruebas de laboratorio, buscando establecer valores de K_D para diferentes condiciones de algunas de las variables, cuyos resultados aparecen publicados en las referencias. A pesar de que estos datos representan en la actualidad los fundamentos más útiles disponibles para seleccionar K_D , deben tomarse en cuenta algunas limitaciones en cuanto a la aplicación de los resultados de las pruebas de laboratorio.

Estas limitaciones son:

(a) Las olas producidas en laboratorio fueron de altura y período relativamente uniformes y por lo tanto no produjeron las diferentes condiciones que se presentan en la naturaleza.

(b) Los efectos de escala aún no están completamente determinados. Sin embargo algunos experimentos de laboratorio realizados por el antiguo Departamento de Erosión Costera indicaron que el efecto de escala probablemente no tenga importancia.

(c) La colocación de los elementos de coraza en el prototipo es diferente, en cuanto al grado de trabazón, al logrado en el laboratorio. En la construcción del prototipo es posible colocar piedras o elementos artificiales, de tal manera que se logre un alto grado de trabazón en la parte de la estructura que queda sobre el nivel del agua, no siendo así en la parte que queda alojada dentro del agua. Es debido a esto, por lo que se recomienda emplear los datos de laboratorio referentes a colocación "al azar" como base para seleccionar los valores de K_D .

(d) Mientras que se cuenta con una gran investigación en lo referente a las condiciones que producen olas no rompientes, en cambio se dispone de muy escasas pruebas respecto a olas rompientes. Aún no han sido completamente establecidas las condiciones de profundidad y pendiente del fondo, capaces de producir las características de ola rompiente de mayor destructividad. Por el momento se considera recomendable aplicar una reducción a los valores de K_D determinados para olas no rompientes, para aplicarlos a una ola de diseño en rompiente. Tal reducción puede ser más conservadora que los valores indicados por las pruebas de laboratorio aún incompletas.

(e) Está bien establecido que el morro de un rompeolas o de una escolle-

ra, normalmente sufre mayores daños que el tronco de la estructura debido a varios factores. El morro de la estructura esta sujeto a la roci6n bajo todas las condiciones de oleaje, una parte del morro generalmente esta sujeta al ataque directo del oleaje indiferentemente de cual sea la direcci6n de incidencia del mismo; y un seno de ola en el lado sota-vento de la estructura puede coincidir con la sobreelevaci6n m6xima del oleaje en el lado barlovento, originando una gran carga est6tica productora de flujo a trav6s de la estructura.

Bas6ndose en los datos disponibles y en las limitaciones anteriormente expuestas, la tabla 4-2 presenta los valores recomendables para K_D . Debido a las limitaciones ya mencionadas, los valores que aparecen en la tabla se considera que no cuentan con un factor de seguridad.

La experiencia del ingeniero de campo puede usarse para ajustar el valor de K_D contenido en la tabla 4-2 pero, toda modificaci6n a estos valores debe estar plenamente justificada. Los valores de K_D para piedra rugosa y angular han sido determinados considerando una coraza con un espesor de dos piedras. En la pr6ctica se recomienda usar coraza de un espesor de dos piedras pero en algunos casos si no es posible puede emplearse de una sola. El dise1o de una estructura de enrocamiento tal (1 capa) no debe basarse en un valor de K_D para dos capas sino en un valor extrapolado de K_D para una capa, como se indica en la tabla 4-2. Los valores indicados son menores que los correspondientes a dos capas y por lo tanto resultan piedras para la coraza m6s pesadas que aseguren su estabilidad. Se debe tener mayor cuidado en la colocaci6n de las piedras que forman

una coraza de una sola capa, para asegurar que la capa secundaria contará con una buena protección.

Algunas compañías constructoras de estructuras de enrocamiento han recomendado valores de K_D están basados en parte, en observaciones de campo y en algunas pruebas de laboratorio a escala reducida.

Son difíciles de obtener los datos precisos de la acción de oleaje cíclico real sobre instalaciones en el campo. Las pruebas realizadas por la Estación Experimental de Vías Navegables tanto a escala natural como a escala reducida acerca de la estabilidad de estructuras de enrocamiento, se consideran ser las más completas debido a que se han empleado en ellas muy diferentes formas y tamaños tanto de materiales naturales como artificiales. Hasta que no se realicen mediciones más precisas de las fuerzas que actualmente el oleaje transmite a las estructuras en el campo, los valores de K_D obtenidos de las pruebas realizadas por la Estación Experimental de Vías Navegables se consideran los más adecuados.

La selección del peso de los elementos de una coraza depende también del grado de riesgo que un diseño puede absorber.

Este riesgo involucra primeramente, la suposición de que por un determinado número de años no se presentaran tormentas de determinada intensidad, y en segundo lugar, al costo de las reparaciones de los daños ocasionados en la estructura si se llegaran a presentar tormentas imprevi-

tas. A pesar de todo lo anteriormente mencionado, se recomienda que se empleen los valores de K_D del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los E.U.A. para los diseños de estructuras de enrocamiento.

El Cuerpo de Ingenieros y otras dependencias continúan realizando pruebas de laboratorio y de campo acerca de las estructuras de enrocamiento. Los resultados de estas pruebas serán revisadas por el CERC y los cambios justificados de los valores de K_D serán publicados como modificaciones a la tabla 4-2.

PUERTO INDUSTRIAL Y COMERCIAL DE SALINA
CRUZ, OAXACA

TABLA 4-2
VALORES DE K_D PARA DETERMINAR EL PESO DE ELEMENTOS
DE CORAZA
CRITERIO - SIN DAÑOS-

Elementos de coraza.	n (a)	Colocación.	Tronco o cuerpo de la Estructura.		Cabeza o Morro de la Estructura.	
			Ola Rompiente. (b)	Ola no Rompte (c)	Ola Rompiente. (b)	Ola no rompte (c)
Piedra de cantera lisa y redondeada	2	al azar	2.5	2.6	2.0	2.4
Piedra de cantera lisa y redondeada	3	al azar	3.0	3.2	-	2.9
Piedra de cantera rugosa y angular	1	(d) al azar	2.3	2.9	2.0	2.3
Piedra de cantera rugosa y angular	2	al azar	3.0	* 3.5	2.7	** 2.9
Piedra de cantera rugosa y angular	3	al azar	4.0	4.3	-	3.8
Piedra de cantera rugosa y angular	2	(e) especial	5.0	5.5	3.5	4.5
Cubo Modificado	2	al azar	7.0	7.5	-	5.0
Tetrápodo	2	al azar	7.5	8.5	5.0	6.5
Cuadrípodo	2	al azar	7.5	8.5	5.0	6.5
Exápodo	2	al azar	8.5	9.0	5.0	7.0
Tribarra	2	al azar	8.5	10.0	5.0	7.5
Tribarra	1	Uniforme	12.0	15.0	7.5	9.5
Piedra de cantera angular graduada		al azar	K_{RR}	1.7		para profundidades de 20 pies.
				1.3		para profundidades de 20 pies.

* $K_D = 3.5$ en el cuerpo

** $K_D = 2.9$ en el morro.

- (a) n es el número de elementos que componen el espesor de la coraza.
- (b) Criterio de "roci6n menor"
- (c) Criterio "sin roci6n"
- (d) El uso de una sola capa de piedra de cantera no es recomendable excepto en condiciones especiales, y cuando llega a emplearse, la piedra debe colocarse cuidadosamente.
- (e) Se refiere a una colocaci6n especial de la piedra donde el eje mayor de la misma se coloca normal al paramento de la estructura.

IV.3 DISEÑO DEL ROMPEOLAS

Del análisis del oleaje, se concluyó como altura de ola de diseño la de cinco m. que tiene un período de retorno de 50 años con un coeficiente $K_r \times K_s = 0.95$, resulta una ola de 4.75 m. en el sitio.

Dada la abundancia de roca en la zona y la posibilidad de obtener grandes tamaños y volúmenes relativamente cerca de la obra, se propone utilizar este material para la construcción de las obras de protección, cuyo peso específico es de 2.5 ton/m^3 .

La forma y característica de la estructura son las comúnmente utilizadas, o sea, con materiales graduados en el núcleo, capa secundaria y coraza en secciones simples y taludes 1.5:1 con dos capas de elementos. Los coeficientes de trabazón, analizados en un inciso anterior fueron de la siguiente forma: $KD = 2.9$ en el morro y $KD = 3.5$ en el cuerpo del rompeolas.

Para el cálculo de las secciones transversales, se utilizó el método propuesto en el Shore Protection Manual a partir de la fórmula de Hudson.

Aplicando la fórmula de Hudson:

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

Sustituyendo los valores; los pesos de la coraza son:

$$W_c = \frac{2.5 (4.75)^3}{(2.9) (2.5-1)^3 (1.5)} = 18.25 \text{ ton. (morro)}$$

Para el cuerpo:

$$W_c = \frac{2.5 (4.75)^3}{(3.5) (2.5-1)^3 (1.5)} = 15.12 \text{ ton (cuerpo)}$$

Para la capa secundaria y núcleo, se obtuvieron respectivamente los siguientes pesos:

$$W_{cs} = \frac{18.25}{10} = 1.25 \text{ ton (morro)}$$

$$W_N = \frac{18.25}{100} = 0.1825 \text{ ton (morro)}$$

En el cuerpo:

$$W_{cs} = \frac{15.12}{10} = 1.512 \text{ ton (cuerpo)}$$

$$W_{cs} = \frac{15.12}{100} = 0.1512 \text{ ton (cuerpo)}$$

Considerando las recomendaciones de "Shore Protection Manual" para rangos de pesos aceptables.

Coraza \pm 25 %

Capa Secundaria \pm 30 %

Núcleo \pm 50 %

Se obtienen los siguientes rangos:

	C O R A Z A			
	W	1.25 W	0.75 W	RANGO
MORRO	18.25	22.81	13.69	14 a 22 ton
CUERPO	15.12	18.90	11.34	11 a 19 ton

	C A P A S E C U N D A R I A			
	W	1.3 W	0.7 W	RANGO
MORRO	1.825	2.37	1.28	1.5 a 2.5 ton
CUERPO	1.512	1.976	1.064	1 a 2 ton

	N U C L E O			RANGO
	W	0.5 W	1.5 W	
MORRO	0.1825	0.091	0.274	100 a 300 Kg.
CUERPO	0.1512	0.076	0.227	75 a 250 Kg.

IV. 3.1 CALCULO DE ESPESORES DE LAS CAPAS.

El espesor B, ya sea de la coraza o de la capa secundaria se determina mediante la siguiente fórmula:

$$B = n \quad K \quad \frac{W}{Sr.}^{1/3}$$

donde:

- n = número de elementos que forman la capa
- K = coeficiente capa; se obtiene de la sig. tabla.
- W = peso de un elemento en la corona
- Sr = Peso específico del elemento

ELEMENTO DE CORAZA	N	COLOCACION	COEFICIENTE DE CAPA K	POROSIDAD (P) EN PORCENTAJE
Roca de cantera (lisa)	2	volteo	1.02	38
<u>Roca de cantera (rugosa)</u>	2	<u>volteo</u>	<u>1.15</u>	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
Tribar	2	volteo	1.15	47
Dolos	2	volteo	1.00	63
Tribar	1	uniforme	1.13	47

CALCULO DE ESPESORES

Considerando dos capas de elementos y coeficientes K = 1.15 tenemos:

$$B = N K \frac{W}{S_r}^{1/3}$$

Espesor de la coraza en el morro

$$B = 2 (1.15) \frac{18000}{2500}^{1/3} = 4.44 \text{ m}$$

Para la coraza del cuerpo:

$$B = 1 (1.15) \frac{15000}{2500}^{1/3} = 4.18 \text{ m}$$

Espesor de la capa secundaria en el morro

$$B = 2 (1.15) \frac{1825}{2500}^{1/3} = 2.06 \text{ m}$$

Espesor de la capa secundaria en el cuerpo

$$B = 2 (1.15) \frac{1512}{2500}^{1/3} = 1.94 \text{ m}$$

III. 3.2 ELEVACION Y ANCHOS DE LAS CORONAS

Uno de los efectos provocados por el talud de la estructura es el ocasionar la rotura de la ola, al hacer que las trayectorias orbitales se destruyan y con ello que la energía de la ola incidente se disipe, pero parte de ésta energía hace que la ola después de rota trepe por el talud hasta una distancia que es en función de la inclinación y rugosidad de aquel y de características propias de la ola.

La elevación de la corona deberá ser tal que garantice que en la zona interior-aquella que se pretenda dar protección- se tenga la suficiente calma para que la estructura cumpla con los fines propuestos, puede tolerarse cierta roci6n sólo si no causa agitaci6n del agua en el interior que pudiera detrimentar las operaciones o el tr6nsito de embarcaciones.

Esta sobreelevaci6n o roci6n m6xima del oleaje est6 en funci6n seg6n Seville, de las relaciones H_0'/T^2 y d/H_0' , en las que H_0' es la altura de ola equivalente en aguas profundas, T es el per6odo de la ola y "d" es la profundidad al pie de la estructura.

Con estas relaciones se puede determinar el valor R_y del alcance vertical de la ola.

Considerando los niveles de marea y oleaje normales, se calcul6 la elevaci6n del n6cleo con suficiente altura que permita la operaci6n de los veh6culos.

$$H = (\text{Altura de ola media}) = 0.90$$

$$\text{N.P.M.S.} = 0.645 \text{ m.}$$

$$\text{N.B.M.I.} = -0.574 \text{ m.}$$

$$\text{Elev. referida al NBMI} = 1.219 + 0.90 = 2.119$$

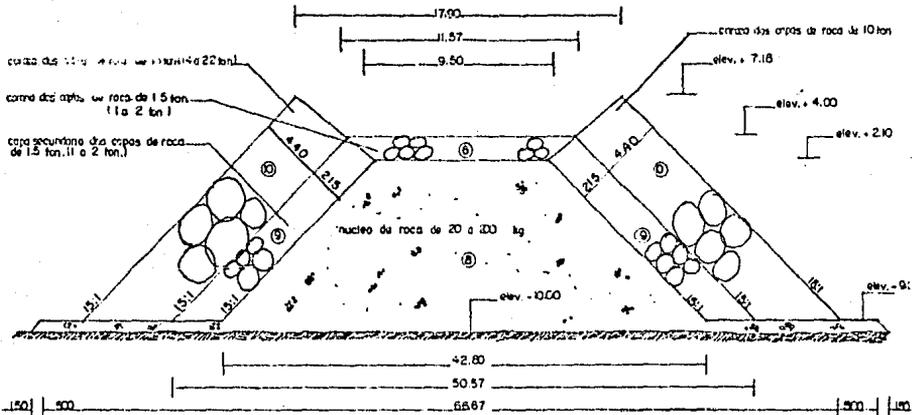
$$\text{La elevaci6n del n6cleo} = 2.10 \text{ m}$$

Considerando el espesor de la capa secundaria la elevación de la corona será de 4.00 m.

Por último considerando el Run up, la pleamar máxima y el espesor de la coraza resulta una elevación de la corona de la coraza de 7.18 m y 6.90 m en el morro y cuerpo respectivamente.

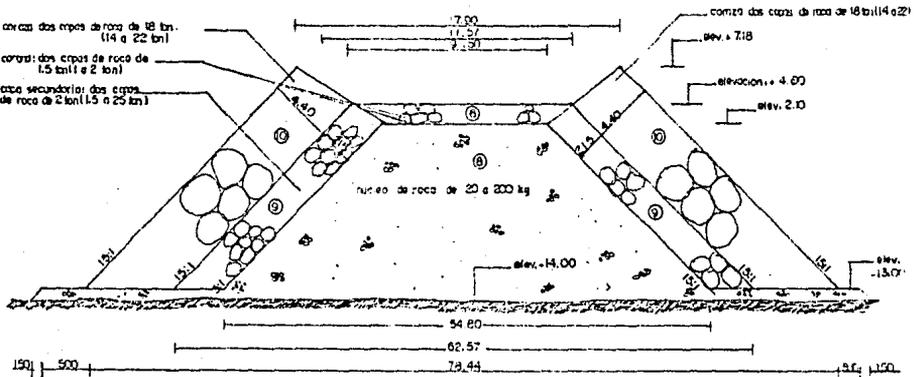
Para el ancho del núcleo se consideró como mínimo para poder realizar las maniobras, un ancho de corona de 9.50 m, derivándose de este el ancho de la corona de las otras capas.

Finalmente, la disposición última de los dos rompeolas del puerto industrial y comercial de Salina Cruz, queda ilustrado en los siguientes planos.



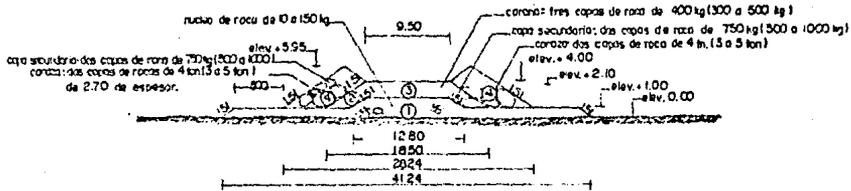
seccion en el morro

TRAMO 4 ROMPEOLAS ESTE (KM 0+245)



seccion en el morro.

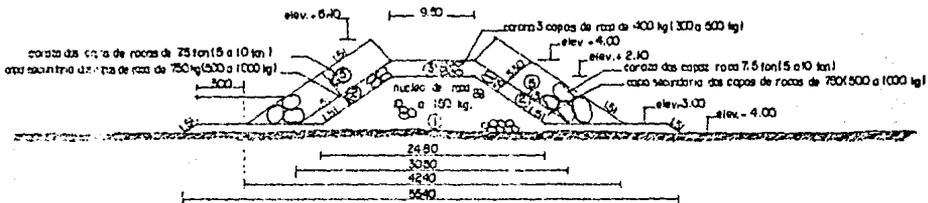
TRAMO 4 ROMPEOLAS OESTE (KM 0+472)



seccion tipo en el arranque (0.00)

TRAMO 1

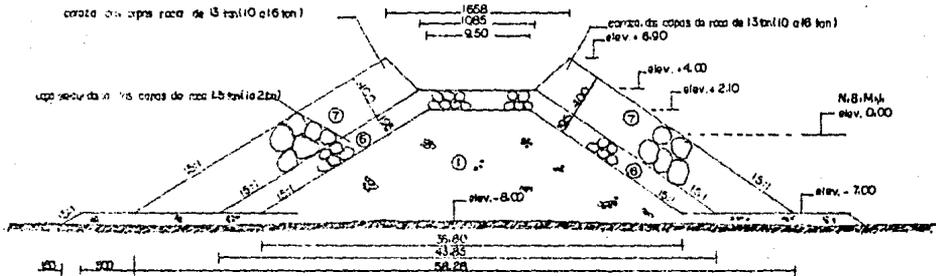
ROMPEPLAS ESTE (KM 0 + 0.58)
ROMPEPLAS OESTE (KM 0 + 0.49)



seccion en el cuerpo

TRAMO 2

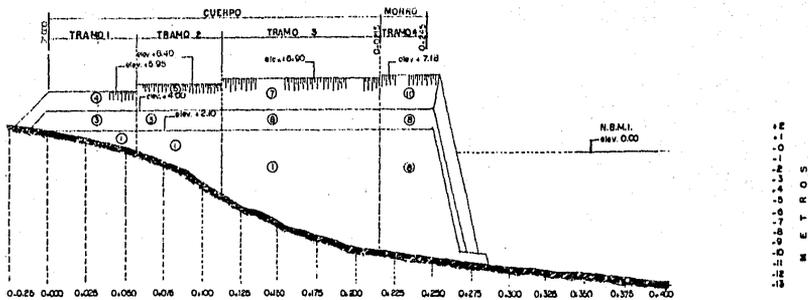
ROMPEPLAS ESTE (KM 0 + 114)
ROMPEPLAS OESTE (KM 0 + 098)



seccion en el cuerpo

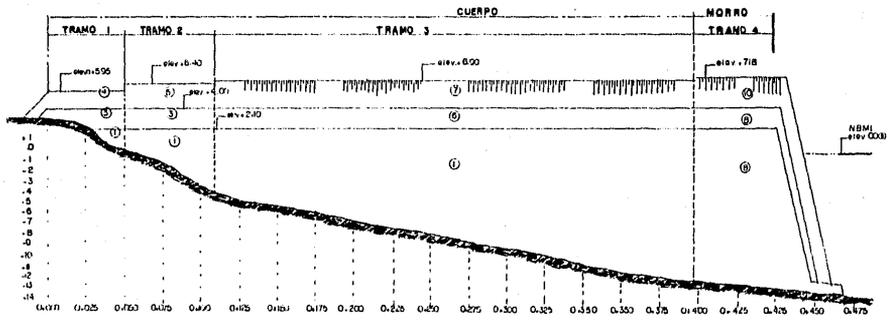
TRAMO 3

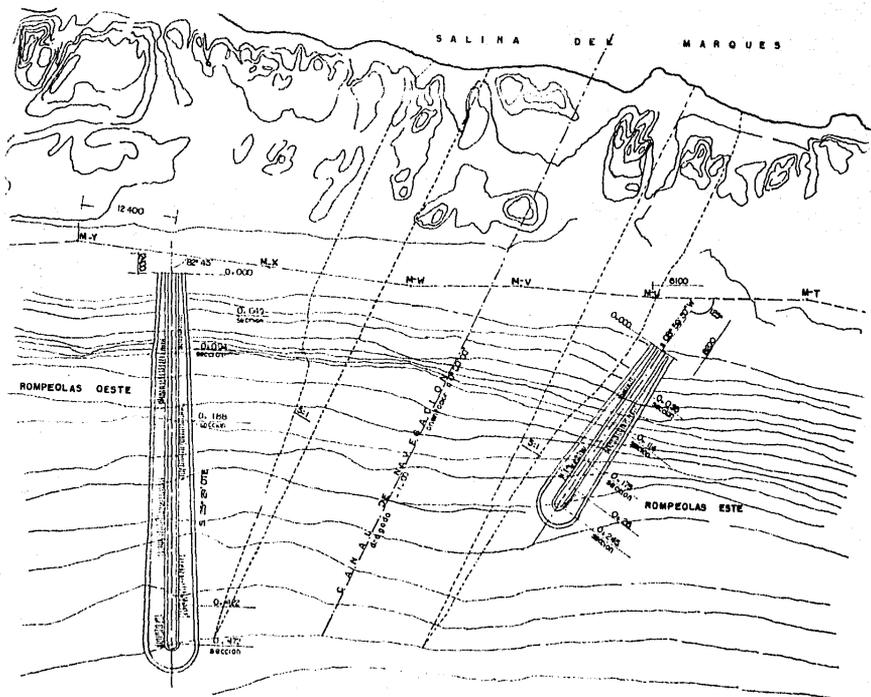
ROMPEPLAS ESTE (KM 0 + 175)
ROMPEPLAS OESTE (KM 0 + 168)



seccion longitudinal por el eje del rompeolas este

ESC. HOR. 1:1000
ESC. VER. 1:150





PUERTO INDUSTRIAL SALINA CRUZ, OAX.
CANTIDADES DE MATERIAL

CLAVE	CAPA DE ROMPEOLAS	ELEMENTO	VOLUMEN (m ³)		PESO (Ton)	
			R. ESTE	R. OESTE	R. ESTE	R. OESTE
1	Núcleo y Plantilla (cuerpo)	Roca de 10 a 150 kg.	25,398	91,761	63,495	229,402
2	Capa Secundaria (cuerpo)	Roca de 0.3 a 2 Ton.	8,451	24,986	21,128	62,466
3	Coraza (cuerpo)	Roca de 3 a 16 Ton.	13,960	44,201	34,900	110,503
4	Núcleo y Plantilla (morro)	Roca de 20 a 200 kg.	12,260	28,678	30,650	71,695
5	Capa Secundaria (morro)	Roca de 1.0 a 2.5 Ton.	7,419	7,419	9,680	18,547
6	Coraza (morro)	Roca de 14 a 22 Ton.	8,612	15,608	21,530	39,020
T O T A L E S			72,553	212,653	181,383	531,633

167

MATERIAL	VOLUMENES		TOTAL
	R. Este	R. Oeste	
Volumen del Núcleo	37,658	120,439	158,097
Volumen de la capa Secundaria	12,323	32,405	44,728
Volumen de la Coraza	22,572	59,809	82,381

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Debido a su situación geográfica el Puerto Industrial, Comercial y Petrolero de Salina Cruz, Oaxaca, generó dentro de sí mismo una serie de alternativas pues se dispuso siempre de las áreas de tierra y mar, necesarias hacia ambos lados del puerto actual. Para ubicar de manera más correcta al puerto se hicieron análisis de tipo económico, técnico, político y social de cada una de las alternativas obteniendo como resultado la construcción de dos puertos separados: el primero un Puerto Industrial y Comercial y el segundo un Puerto Petrolero permitiendo así una operación independiente cada uno de ellos. Definido ya el Puerto Industrial y Comercial se proyectó el canal acceso en dirección N-S aprovechando precisamente la dirección de los vientos dominantes para disminuir la distancia de frenado de los buques. Por su capacidad de carga de los buques al canal de acceso tendrá una profundidad de -12 m. misma que garantiza un tránsito de acuerdo a sus calados. Como el antepuerto y las áreas de dársenas estarán ubicadas en zona lacustre (Laguna del Maquéz), se tendrá poco dragado, mismo que será aprovechado en rellenos para áreas de bodegas; patios e industrias de puerto.

Ahora bien como está es una zona despoblada, habrá necesidad de traer mano de obra y técnicos especializados en construcción y operación portuaria, lo cual traerá como consecuencia asentamientos humanos de gran magnitud, por lo que a corto plazo habrá de erogarse gran cantidad de capital para la planeación y construcción de zonas urbanas pero que posteriormente, la zona tendrá un crecimiento moderado satisfaciendo sus necesidades de bienes y servicios.

Por lo que respecta a los factores físicos que rigieron el proyecto podemos afirmar que los estudios que se hicieron fueron totalmente respaldados por datos medidos y procesados por diferentes fuentes dedicadas a la oceanografía y meteorología mediante métodos matemáticos. El estudio de los vientos dió como resultado final los diagramas de Lenz cuya traducción nos permitió conocer su dirección, velocidad media y máxima y frecuencia, parámetros que después fueron aplicados sobre todo a la orientación de las rompeolas. Sin embargo, el factor físico que tiene mayor importancia dentro del desarrollo del proyecto es el oleaje puesto que su estudio y análisis nos llevó a obtener los diagramas de refracción de oleaje, su ángulo de incidencia en la playa, aplicándose éstas características en el cálculo del transporte litoral. La frecuencia, dirección y altura de ola significativa se obtuvieron mediante análisis profundos, pues ello nos hace preveer los fenómenos que puedan ocurrir y con esto la estructura proyectada es la más económica posible con una mejor operatividad. Los niveles de marea resultante fueron definidos a partir de datos estadísticos de la zona bastante confiable ya que comparativamente ambas fueron similares.

Otra función muy importante del rompeolas, en éste caso, es proteger al puerto en contra de la erosión o depósito del material playero. En éste aspecto se analizaron los posibles azolvamientos; su dirección y cuantificación que diversos métodos. De los diferentes métodos utilizados se eligió el teórico probabilístico debido a que en el se toman en cuenta todos los factores que pueden incidir en un proceso real; debido a la cantidad de material del transporte litoral se proyectó una estructura con una longitud

tal que pueda funcionar en el tiempo en que se pueda recuperar la inversión.

En cuanto al dimensionamiento de los rompeolas, podemos concluir que el cálculo realizado se hizo en función de la fórmula de Hudson, pues en México es el que más ha satisfecho las necesidades de cada estructura. Es importante señalar también que todos estos tipos de diseño se han complementado con estudios de modelos reducidos, tratando de construirse estos apegados a las condiciones reales del sitio en estudio; con la ayuda que nos brinda los modelos se pueden complementar los estudios teóricos con la práctica dando así como resultado final una visión clara al ingeniero portuario y por lo tanto éste proyectará las obras logrando cumplir con los objetivos que se hayan propuesto.

La disposición final de los rompeolas obedece a que el rompeolas W tendrá una longitud de 472 m. con lo cual será capaz de detener el transporte litoral de la zona, el cual viaja de W a E y el rompeolas E sólo tiene una longitud de 275 m. y hasta la batimétrica -12, pues su función principal es proteger al canal de acceso de posibles azolvamientos. La energía del oleaje será absorbida por cada uno de los rompeolas ya que la orientación se hizo tratando de dar la mayor calma a la zona de maniobras, mediante la refracción y difracción del oleaje, éstas hechas en laboratorio.

Las alturas y espesores de las capas de los rompeolas se calcularon previendo

siempre los niveles de marea y la rotación del oleaje en cada una de las secciones de los rompeolas.

Por lo que respecta a los bancos del material a utilizar en la construcción de los rompeolas, estos se localizaron a distancias cercanas a la obra, permitiendo así un ahorro en su transporte.

BIBLIOGRAFIA

1. Bustamente A. Roberto
Ingeniería Marítima, Segunda Edición.
México. Ediciones Temas Marinos. 1976 pp-783.
2. Herrejón Luis, Robledo Luis
Memoria de Curso. Pindter Julio. Proyecto y Const. de Obras Maritimas
México. Facultad de Ingeniería 1984 pp-850
3. Bohdan Nagorski
Los problemas portuarios en los países en desarrollo
Trad. Eduardo Beaven. 1ª edición México 1974 pp-299
4. Planificación y Explotación de Puertos, Ingeniería Oceanográfica y -
de Costas. Del Moral Rafael, Berenguer José. 3er. edición
España. Editorial C.E.O.P. pp-385
5. Puertos
Hernández de Labra
México ENEP Acatlan 1983 pp-551
6. C.I.F.S.A.
Planeación General del Puerto Industrial
y Comercial de Salina Cruz

- México. Secretaría de Comunicaciones y Transportes
Dirección General de Obras Marítimas 1981 pp-380
7. CIFSA.
Régimen de Costas en Salina Cruz
México. Secretaría de Comunicaciones y Transportes
Dirección General de Obras Marítimas 1981 pp-325
8. Manual de diseño de Obras Civiles
Hidrotecnia. Hidráulica Marítima
México. Comisión Federal de Electricidad 1983 pp-250
9. Tablas de Predicción de Mareas
Puertos del Océano Pacífico Oceanografía
México. Universidad Nacional Autónoma de México 1980 pp-287
10. Revista del I.M.C.Y.C. No. 155
"Puertos Industriales"
México 1983 pp-55
11. Revista de la Comisión Nacional
Coordinadora de Puertos
México 1982 pp-52

12. Shore Protection Manual

C.E.R.C. Trad. Ing. A Galindo

E.U.A.

13. Iribarren Cavanilles R.

Obras Marítimas, Oleaje y Diques

España.