

84
28



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**ESTUDIOS FISICOS Y PROYECTO DE COMUNICACION
DE LA LAGUNA DE CUYUTLAN CON EL MAR**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :
FERNANDO LOPEZ SALGADO**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis 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.

INDICE

| | PAGINA |
|--|--------|
| CAPITULO 1 INTRODUCCION | |
| Introducción..... | 1 |
| CAPITULO 2 INFORMACION PRELIMINAR | |
| 2.1 Localización y descripción de la zona..... | 3 |
| 2.2 Antecedentes y utilización actual..... | 6 |
| 2.3 Problemática..... | 8 |
| 2.4 Planes de Rehabilitación..... | 8 |
| CAPITULO 3 ESTUDIOS TOPOBATIMETRICOS | |
| Estudios Topobatimétricos..... | 10 |
| CAPITULO 4 ANALISIS OCEANOGRAFICO | |
| 4.1 Oleaje Normal..... | 12 |
| 4.2 Oleaje Ciclónico..... | 13 |
| 4.3 Mareas..... | 31 |
| 4.4 Vientos..... | 42 |
| CAPITULO 5 REGIMEN LITORAL | |
| Régimen Litoral..... | 53 |
| CAPITULO 6 ESTUDIOS ESPECIALES | |
| 6.1 Estudios de calidad del agua..... | 58 |
| 6.2 Muestreo Playero..... | 59 |
| 6.3 Transporte Eólico..... | 62 |
| CAPITULO 7 ANALISIS DEL FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO | |
| 7.1 Trazo del eje del canal..... | 67 |
| 7.2 Ecuaciones gobernantes..... | 67 |
| 7.3 Solución analítica y aplicación..... | 69 |
| CAPITULO 8 ANALISIS DE ESTABILIDAD | |
| Análisis de la estabilidad..... | 84 |
| CAPITULO 9 DISEÑO DE OBRAS DE PROTECCION | |
| 9.1 Dimensionamiento general..... | 92 |
| 9.2 Diseño de los elementos..... | 94 |

INDICE

PAGINA

CAPITULO 10 CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO

Cantidades de obra y presupuesto.....100

CAPITULO 11 CONCLUSIONES

11.1 Conclusiones.....102

11.2 Recomendaciones.....103

Bibliografía.....104

I. INTRODUCCION.

Esta tesis es una descripción de la realización de los estudios y una alternativa propositiva para comunicar la laguna de Cuyutlán con el mar. Lo anterior se estimó necesario, ya que diversos estudios previos hechos por la Secretaría de Pesca, Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos y diferentes instituciones relacionadas con la vida, evolución y futuro de la laguna, coincidieron en la necesidad de llevar a cabo estudios técnicos y económicos para comunicar la laguna con el mar. El sitio seleccionado para realizar este estudio es el denominado "El Malecón", ya que es donde la barra litoral que separa la laguna del mar es más estrecha y coincide con la región del vaso lagunar donde se pretende dar una vocación pesquera.

La parte de los estudios esta apoyada en los realizados por una empresa contratista y que fueron encargados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, a través de la Dirección General de Obras Marítimas (D.G.O.M.). Los estudios se llevaron a cabo en dos etapas: la primera comprende la batimetría y los estudios ecológicos en la laguna; así como la recopilación de información y fue desarrollada en el último trimestre de 1984; la segunda se desarrolla el último trimestre de 1985 y complementa a la primera en la obtención de datos físicos en la barra litoral y frente marítimo y abarca la culminación del proyecto.

El orden de los once capítulos se pretende llevar según el necesario para elaborar un proyecto de este género. Como para cualquier obra civil, el proyecto de un canal requiere el conocimiento de los fenómenos físicos que hacen o harán presente en la obra, tanto en el periodo de construcción como en el de su vida útil. La primera parte del trabajo presenta los estudios que se llevaron a cabo para conocer algunos de los aspectos físicos más relevantes para el proyecto. Estos son los estudios topobatemétricos en el lugar de posible comunicación laguna-mar; los estudios oceanográficos que comprenden los del oleaje, las mareas, el régimen de costas, el transporte litoral; otros estudios especiales (muy resumidos), que

complementan a los anteriores y ayudan a evaluar la vocación pesquera que podría darse a este cuerpo de agua.

Debe tenerse en cuenta que este trabajo no plantea en sus objetivos, presentar la problemática ecológica, económica, política, social y cultural que encierra el comportamiento de este laguna, física química y biológicamente. Se orienta, más bien, al aspecto de estudio para construir un canal de comunicación laguna-mar, en donde se supone se llegó a tal decisión, después de considerar los aspectos antes mencionados. Sin embargo, dada la importancia de estos problemas, se hace mención a ellos para no descuidar este aspecto tan importante y del cual el ingeniero civil debe tener perfecta conciencia para que verdaderamente su obra beneficie a la sociedad.

La segunda parte presenta la elaboración del proyecto a través del manejo de los datos recabados en la etapa de los estudios. Como la obra pretende mejorar el medio lagunario, principalmente en su tercer vaso, fue necesario realizar un análisis hidráulico para determinar el volumen de agua marina que entraría a la laguna, considerando que entre mayor sea el volumen, los beneficios aumentan por la renovación del agua. El análisis de estabilidad del canal es un elemento muy importante para asegurar la permanencia de la obra a través del tiempo con un costo mínimo de mantenimiento. Finalmente con el manejo de los datos oceanográficos se procede al diseño de las obras de protección y a una cuantificación de los volúmenes de obra para obtener el costo a precios actuales. En las conclusiones se resumen los aspectos más importantes y algunas recomendaciones y comentarios sobre el proyecto.

II. INFORMACION PRELIMINAR.

El primer paso para llevar a cabo los estudios fue el acopio de la mayor información posible acerca de la región, tanto de la laguna como de su entorno. Ha sido importante leer y revisar toda esta información sin discriminación de temas, ya que es común encontrar datos de interés para entender la problemática y por lo tanto, tener la posibilidad de plantear una solución viable y económica. La información recopilada ha sido la que se presenta en el cuadro 2.1. Sobre la información que muestra este cuadro, se destacan los siguiente aspectos.

2.1. Localización y descripción de la zona.

La laguna de Cuyutlán está localizada sobre la planicie costera del estado de Colima, situada entre la bahía de Manzanillo y el río Armerfa. Geográficamente se encuentra ubicada entre los 19°57' y 19°05' Latitud Norte y los 103°57' y 104°20' Longitud Oeste. Es un cuerpo de agua considerado de grandes dimensiones, pero muy somero. Ver mapa "Plano General de la Zona", figura 2.1.

Se estima que la laguna ocupa un área de 7200 has., sin embargo la inundación debida a la afluencia del mar y la precipitación pluvial, incrementan el área en 5470 has. Esta separada del Océano Pacífico por un cordón litoral de anchura variable no mayor de un kilómetro y una elevación máxima de 10 m.s.n.m.. Las aportaciones de agua a la laguna provienen del mar a través de un canal y un túnel en Punta Ventanas y Manzanillo respectivamente, y de los escurrimientos provenientes de la zona montañosa, siendo el río Armerfa el mayor. Estos presentan la característica de ser intermitentes.

En este lugar se localizan rocas del Mesozoico (granitos con abundancia de feldespatos de Potasio), así como afloramientos de rocas ígneas extrusivas claras (andesitas); especialmente en la región de Manzanillo.

Sobre el litoral el material es el de un típico complejo de barrera, de edad reciente (cuaternario). En el interior de

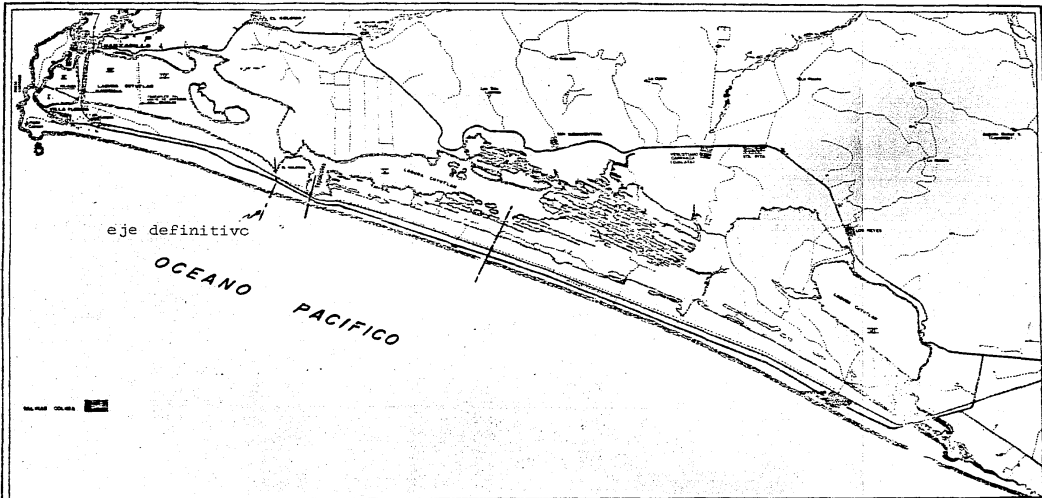
INFORMACION RECOPIADA

pag 4

| P U B L I C A C I O N | A Ñ O | I N S T I T U C I O N |
|---|-------------|--------------------------|
| 1.- Evaluación ecológica para promover la rehabilitación de la Laguna de Cuyutlán, Colima. | 1984 | SEPESCA, UAG Y COCOMABA. |
| 2.- Estudio para la rehabilitación de la Laguna de Cuyutlán. | 1978 | IOM Y COCOMABA. |
| 3.- Determinación de los efectos de la termoeléctrica de Manzanillo en la flora y fauna de la Laguna de Cuyutlán, Col. | 1974 | S. R. H. |
| 4.- Estudio del acarreo litoral frente a la Laguna de Cuyutlán, Colima. | 1977 | C. F. E. |
| 5.- Estudio de la obra de toma de la planta termoeléctrica Manzanillo, discusión y alternativas. | 1980 | U. N. A. M. |
| 6.- Estudio Ictiológico en la Laguna de Cuyutlán, Colima. Tesis. | 1973 | SRIA. MARINA |
| 7.- Estudio sobre la geografía de la región de Manzanillo, Col. | 1984 | U. N. A. M. |
| 8.- Rehabilitación y adecuación pesquera de la Laguna de Cuyutlán. (Análisis preliminar). | 1983 | C. T. M. MANZ. |
| 9.- Influencia de las obras de ingeniería en el ecosistema de la Laguna de Cuyutlán y recomendaciones para su rehabilitación. | U. N. A. M. | |
| 10.- Aspectos biológicos y socioeconómicos de la Laguna de Cuyutlán. | DENTAL | |
| 11.- Castas topográficas escala 1:50 000 de la Laguna de Cuyutlán. | 1973 | S. R. H. |
| 12.- Triangulación de control, levantamiento topohidrográfico, Laguna de Cuyutlán, Col. | 1976 | S. A. R. H. |
| 13.- Estudios topohidrográficos en la Laguna de Cuyutlán, Col. | | |

| P U B L I C A C I O N | A N O | I N S T I T U C I O N |
|---|-------|-----------------------|
| 14.- Estudios de acarreos litorales --- frente a ventanas, Colima. | 1975 | C. F. E. |
| 15.- Proyecto de obras exteriores para la apertura de la Barra en la Lagu na de Cuyutlán, Colima en el sitio denominado Tepalcates, Col. | | |
| 16.- Evaluación de los niveles microbio lógicos de coliformes fecales y -- estreptococos en la Laguna de Cuyu tlán. | 1984 | UNIV. DE COLIMA |

Tuadro 2.1. Hoja 2.



NOTAS:

Este plano se basa en CARTA DE DETALLE de 1979.

TESIS PROFESIONAL
FERNANDO LOPEZ SALGADO
FAC. INGENIERIA U.N.A.M.

PLANO GENERAL DE LA ZONA
FIGURA 2.1

la laguna se encuentran afloramientos granfíticos. El rasgo fisiográfico más notable de la laguna es su distribución en 5 grandes vasos de recepción. En su parte NW dominan los materiales derivados del arroyo seco, al norte del poblado de las Adjuntas. En esta porción lagunaria, afloran isletas de constitución granfítica. En la parte central y norte, es significativa la existencia de cordones de playa característicos de una laguna hipersalina.

La flora circundante está compuesta principalmente por manglares de la especie *Rizophora Mangle* y *Laguncularia Racemosa*, además se compone de una vegetación pionera que se encuentra intercalada entre los machones de mangle. En las áreas de desecación temporal se presentan plantas halófitas.

El promedio de temperatura atmosférica media anual es de 26°C, la máxima de 29.7°C, y la mínima de 22.4°C. La cuenca de captación de la vertiente hidrológica es de 424.9 Km². La precipitación promedio anual es de 975.2 mm con máxima de 1341 mm y mínima de 625.5 mm; la media mensual es de 81.9 mm, haciendo notar que dichos valores sólo se registran de junio a octubre, durante el periodo de lluvias y los meses restantes se clasifican de estiaje. La evaporación máxima anual en promedio es del orden de 1987.4 mm y la mínima de 1020 mm.

2.2. Antecedentes y utilización actual.

Desde los tiempos prehispánicos hasta los nuestros, la laguna ha sido objeto de utilización, principalmente, por una importante explotación de mineral de sal y pesquerías. Según antecedentes históricos, en 1554, la laguna de Cuyutlán presentaba una configuración muy similar a la presente, excepto que en este tiempo, estaba comunicada con el medio marino a través de una boca a la altura del lugar denominado Palo Verde, en las proximidades del ahora río Armería. Para 1870 la laguna se aislaba del mar porque la boca mencionada tendía a desaparecer. El último vaso (vaso 5), se convierte en un estero cuando se presenta la influencia de aguas marinas. A principios del presente siglo se construye sobre la laguna, a la altura del cerro "El Vigía", un terrapién para el tendido de la vía del ferrocarril. Este se levanta en todo lo ancho de la laguna (aprox. 2 Km.), dejando una alcantarilla de

aproximadamente 20m para el paso del agua, a pesar de que no existía comunicación alguna con el mar en ese vaso.

El terraplén provoca estancamiento del agua y por lo tanto problemas de contaminación. Ante esto se construyó un túnel en 1937, desde la bahía de Manzanillo hasta las inmediaciones del terraplén del ferrocarril, que sólo cubría su parte oriental; por lo que no contribuyó a solucionar el problema del estancamiento. Este es un canal cerrado con una longitud de 425 m y de 20 m² de sección. En 1978 la C.F.E. abre el canal de "Ventanas" con el propósito de resolver los requerimientos de un gasto de 50 m³/s para el sistema de enfriamiento de la planta termoeléctrica de Manzanillo, instalada en el ejido de Campos. El canal tiene forma trapezoidal, 118 m de longitud y 25 m de ancho de bordo a bordo, taludes de 1:1 y una plantilla de 15 m, situada a una profundidad de 3 m por debajo del nivel medio del mar. El extremo del canal expuesto a la influencia marina, se protegió con una escollera en la parte Norte de aproximadamente 137 m. Tomando en cuenta estas dimensiones, el área seccional del canal es de 54 m².

En 1990 la S.C.T. construye un bordo sobre la laguna para colocar la tubería del dragado de la ampliación del Puerto Interior de San Pedrito, también en este bordo se dejó una alcantarilla de 20 m para la circulación del agua. En 1981 se colocaron 38 torres para líneas de transmisión eléctrica sobre la laguna. Las torres están montadas sobre cimientos cuadrados de 7.9 m por lado y espaciadas aproximadamente 100 m una de otra.

Recientemente la misma C.F.E. ha realizado dragados, rellenos y levantamiento de bordos en el vaso I con el fin de represar el agua que entra por el canal y dirigirla directamente hacia la obra de toma de la planta termoeléctrica.

Sin dato preciso de la fecha de construcción, los salineros construyeron bordos con compuertas para el control del ingreso de agua a sus cárcamos de producción. La zona salinera se encuentra en los últimos vasos de la laguna.

2.3. Problemática.

Los problemas que presenta este sistema lagunario se pueden resumir en una fuerte baja en la producción pesquera, causada por la degradación del medio lagunario por medio de descargas de los desechos urbanos provenientes de la Cd. de Manzanillo y de la planta termoelectrica de la C.F.E. Los problemas se han visto acentuados por el estancamiento del agua provocado por los bordos que cruzan la laguna. Además, debe considerarse la pérdida de un medio ambiente natural donde se refugian muchos organismos vivos importantes para el equilibrio ecológico. Otra causa importante de la pérdida de este habitat es la baja profundidad del agua, ya que los volúmenes que entran son pequeños en relación con el área de la laguna. Se ha observado que el nivel del agua ha disminuido de 30 a 40 cm en sentido vertical y entre 50 y 100 cm en sentido horizontal con respecto a los valores registrados en 1976. La tala inmoderada de mangle y árboles han provocado que la descarga de sedimentos sea cada vez mas alta.

2.4. Planes de Rehabilitación

Los planes de rehabilitación provienen de diferentes dependencias y organizaciones vinculadas con el sistema lagunario. Algunos de los planteamientos son compatibles unos con otros, y en otros casos se contradicen. Las proposiciones más coincidentes son:

- 1.- Rellenos en la zona de mayor degradación.
- 2.- Eliminación de las descargas residuales y urbanización de los asentamientos humanos.
- 3.- Delimitación del uso urbano e industrial de la laguna a los vasos I, II, y III, reservando los vasos IV y V para la explotación pesquera, salinera, turística y de preservación ecológica.
- 4.- Desazolve del túnel.

- 5.- Retiro del terraplén del tubo de dragado del puerto interior.
- 6.- Desarrollo de un programa de adecuación pesquera.
- 7.- Aislamiento de la zona salinera con el cuerpo de agua.
- 8.- Monitoreo de la calidad del agua.
- 9.- Control de la deforestación de cerros adyacentes.
- 10.- Programas de concientización a la población sobre el recurso del sistema lagunario.

III. ESTUDIOS TOPOBATIMÉTRICOS.

Para tener un conocimiento de la fisiografía de la región de la laguna y en especial de la barra litoral donde se proyecta construir el canal, se llevaron a cabo estudios topográficos. Primeramente se hizo un recorrido por agua y tierra en la laguna y sus alrededores para reconocer la zona e identificar los puntos de interés, que los anteriores estudios mencionaron. Estos son: el canal de Ventanas, la termoeléctrica de Manzanillo, el terrapién para las vías de ferrocarril y del bordo para la tubería de dragado del Puerto de San Pedrito (que cruzan la laguna), la zona salinera, los diferentes vasos de agua, los alrededores de la laguna y la zona urbana de Manzanillo, colindante con la laguna. Además de la importancia para el conocimiento físico de la región, este recorrido sirvió para localizar los puntos de base para los trabajos topográficos.

Se llevó a cabo una triangulación en toda la laguna, con el fin de contar con un apoyo para los estudios ecológicos, batimétricos e hidrológicos dentro del cuerpo de agua.

Se trazaron 2 poligonales de apoyo en la zona de Tepalcates. Una cruza la barra litoral y sirve de apoyo para el trazo del eje del canal. La otra es una poligonal playera de 2 Km de longitud, uno a cada lado del eje del canal. Ambas poligonales están ligadas y cuentan con monumentaciones en los vértices principales. Se determinaron los azimutes de las líneas de apoyo a través de orientaciones astronómicas y se adoptó el sistema de coordenadas usado por DETENAL. Con apoyo en estas poligonales, se realizó el trabajo de configuración de la zona, donde fue posible obtener secciones transversales de ambas poligonales a cada 100 metros.

La batimetría de la laguna se llevó a cabo con dos tránsitos, ecosonda y demás equipo necesario, apoyándose en la triangulación previamente realizada. La batimetría en el océano cubrió un cuadrado de 4 km², siendo uno de sus lados la poligonal playera, y el otro, adentrándose hacia el mar 2 Km. Con esto fue posible cubrir hasta la batimétrica -25 m referida al N.B.M.I.. El método usado consistió en posicionar la lancha

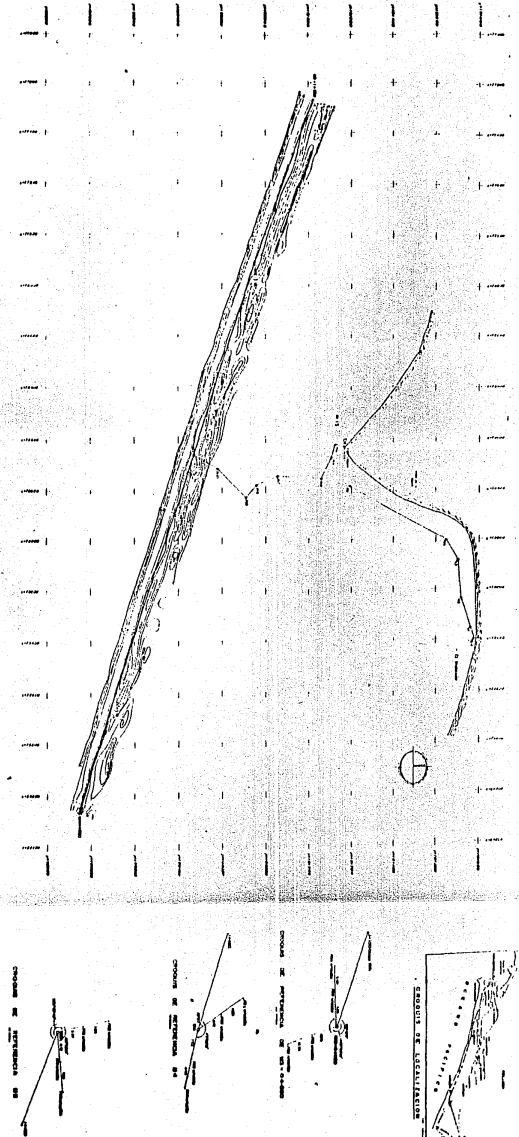
a través de "fijas", con dos tránsitos ubicados en los extremos de la poligonal playera. La lancha debía seguir enfilaciones marcadas por medio de banderas desde la playa y perpendiculares a la misma a cada 100 m. Las profundidades fueron medidas con ecosonda haciendo lecturas a cada minuto aproximadamente. Para obtener mediciones lo más equidistantemente posibles, se fijó una velocidad a la lancha, regulada por un tubo de pitot. La lancha y los tránsitos recibían indicaciones de tomar lecturas por medio de radio.

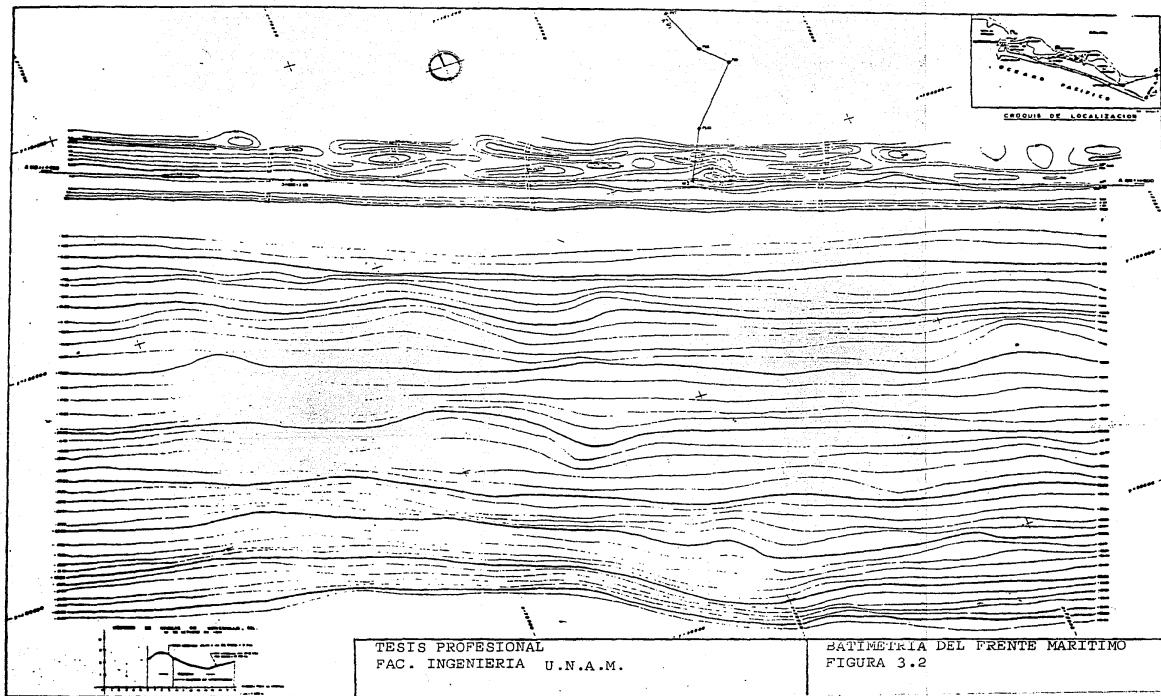
Con estos estudios fue posible realizar los planos topográficos y batimétricos de los cuales se obtuvieron datos importantes para la elaboración del proyecto del canal y de sus obras de protección. Estos son mostrados en los planos de "Poligonales de Apoyo" y "Batimetría del Frente Marítimo", figuras 3.1 y 3.2 respectivamente.

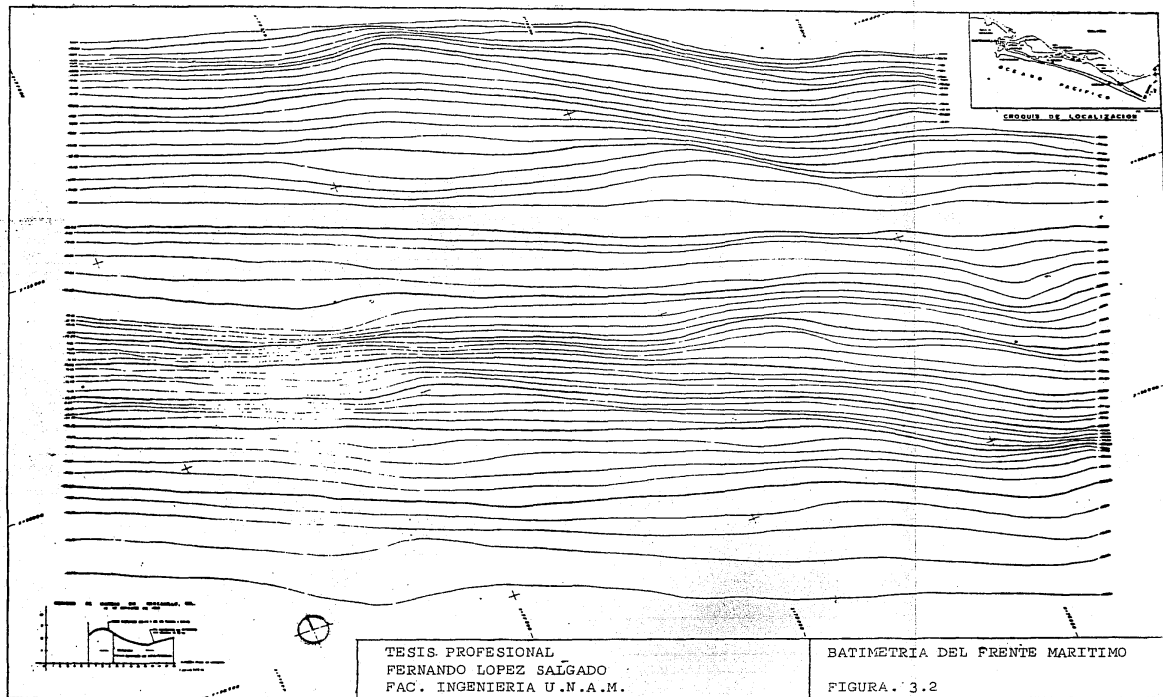
| ESTADO DE GUATEMALA | | MUNICIPIO DE SAN JUAN CANTÓN | |
|---------------------|----------|------------------------------|----------|
| FECHA | PROYECTO | PROYECTO | PROYECTO |
| 1950 | ... | ... | ... |
| 1951 | ... | ... | ... |
| 1952 | ... | ... | ... |
| 1953 | ... | ... | ... |
| 1954 | ... | ... | ... |
| 1955 | ... | ... | ... |
| 1956 | ... | ... | ... |
| 1957 | ... | ... | ... |
| 1958 | ... | ... | ... |
| 1959 | ... | ... | ... |
| 1960 | ... | ... | ... |
| 1961 | ... | ... | ... |
| 1962 | ... | ... | ... |
| 1963 | ... | ... | ... |
| 1964 | ... | ... | ... |
| 1965 | ... | ... | ... |
| 1966 | ... | ... | ... |
| 1967 | ... | ... | ... |
| 1968 | ... | ... | ... |
| 1969 | ... | ... | ... |
| 1970 | ... | ... | ... |
| 1971 | ... | ... | ... |
| 1972 | ... | ... | ... |
| 1973 | ... | ... | ... |
| 1974 | ... | ... | ... |
| 1975 | ... | ... | ... |
| 1976 | ... | ... | ... |
| 1977 | ... | ... | ... |
| 1978 | ... | ... | ... |
| 1979 | ... | ... | ... |
| 1980 | ... | ... | ... |
| 1981 | ... | ... | ... |
| 1982 | ... | ... | ... |
| 1983 | ... | ... | ... |
| 1984 | ... | ... | ... |
| 1985 | ... | ... | ... |
| 1986 | ... | ... | ... |
| 1987 | ... | ... | ... |
| 1988 | ... | ... | ... |
| 1989 | ... | ... | ... |
| 1990 | ... | ... | ... |
| 1991 | ... | ... | ... |
| 1992 | ... | ... | ... |
| 1993 | ... | ... | ... |
| 1994 | ... | ... | ... |
| 1995 | ... | ... | ... |
| 1996 | ... | ... | ... |
| 1997 | ... | ... | ... |
| 1998 | ... | ... | ... |
| 1999 | ... | ... | ... |
| 2000 | ... | ... | ... |

TESTIS PROFESIONALES
 FERRANDO LOPEZ SALGADO
 PAC, INGENIERIA U.N.A.A.M.

PROYECTO DE INTERVENCIÓN EN LA ZONA DE
 POLICIALES DE APOYO
 FIGURA 3-1







TESIS PROFESIONAL
FERNANDO LOPEZ SALGADO
FAC. INGENIERIA U.N.A.M.

BATIMETRIA DEL FRENTE MARITIMO

FIGURA 3.2

IV. ANALISIS OCEANOGRAFICO.

4.1. Oleaje Normal.

El adecuado funcionamiento hidráulico del canal y de sus obras de protección requirió del conocimiento de las características del oleaje. Este puede causar problemas de erosión, azolve y destrucción de las obras de protección. Las dimensiones de las obras se deben relacionar directamente con la altura, dirección y periodos de éste.

Para poder determinar la altura, periodo y dirección de la ola que fijara los parámetros constructivos de la estructura, se recurrió a un análisis estadístico del oleaje. Debido a que no se contaba con mediciones directas del oleaje y que la programación de una campaña de mediciones debe durar por lo menos un año, se recurrió a datos recabados por instituciones oceanográficas internacionales. Estas han registrado sistemáticamente el fenómeno del oleaje en la zona durante varios años. Estas son:

- a) *Cartas de Sea and Swell*, publicadas por la Oficina Hidrográfica de los E.U.A.
- b) *Tablas del Ocean Waves Statistics*, publicadas por la Oficina Meteorológica y la National Physical Laboratories de Inglaterra.
- c) *Tablas del National Oceanic and Atmospheric Administration*, publicada por la Oficina Hidrográfica de los E.U.A..

Las cartas de *Sea and Swell* (al igual que las otras consultadas), dividen convencionalmente las regiones de sus mediciones en zonas. Para estas cartas la región de la laguna de Cuyutlán se encuentra en la zona No. 6. La información se

presenta para oleaje local y para oleaje distante en forma trimestral y anual. La altura y direcciones se presentan en rosas de oleaje, las cuales agrupan la incidencia en sectores de 45° y hacen una división convencional en rangos de altura de ola.

Las tablas del Ocean Waves Statistics adjudican a esta región la número 22. los datos analizados son los de oleaje en aguas profundas. Las rosas de oleaje agrupan incidencias de oleaje en sectores de 30°, en rangos de alturas y periodos de ola normales y significantes por dirección.

Las tablas del National Oceanic and Atmospheric Administration dan a la zona los datos contenidos en el cuadrante de 100° a 105° Longitud Oeste y 15° a 19° Latitud Norte. Las rosas de oleaje agrupan incidencias de oleaje en sectores de 39°. La información se presenta tanto para oleaje local como para oleaje distante y en porcentajes de actuación trimestral y anual. Se hicieron resúmenes estacionales y anuales por cada fuente, conteniendo la distribución de frecuencias de:

- Direcciones de oleaje - Alturas de oleaje
- Direcciones de oleaje - Periodo de oleaje
- Periodo de oleaje - Alturas de oleaje.

De éstos se obtuvieron las alturas y periodos significantes, tanto estacional como anual y las direcciones de oleaje que afectaron a la zona. Los datos se presentan en las tablas No 4.1.1. al 4.1.12. El cuadro 4.1.13 muestra un resumen anual comparativo de cada fuente de las direcciones de ola y sus frecuencias. Se puede concluir que la dirección de oleaje reinante es del oeste con una altura de ola significativa de 1.43 m, un periodo significativo de 8.12 s, la altura máxima es de 2.93 m y la altura media cuadrática es de 1.01 m.

4.2. Oleaje Ciclónico.

T A B L A 4.1.1
ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL OLEAJE
LAGUNA DE CUVUTLAN, CDL.

DE ACCIÓN ESTACIONAL Y ANUAL DE ALTURAS DEL OLEAJE EN AGUAS PROFUNDAS POR DIRECCIÓN
OLEAJE LOCAL

| ESTACION | RANGO DE ALTURA (m) | ALTURA MEDIA (m) | D I R E C C I O N | | | | | | | | S U M A S | |
|------------|---------------------|------------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|---------|-----------|--------|
| | | | N | E | SE | S | SW | W | NW | PARCIAL | TOTAL | |
| INVIERNO | 0.30-0.90 | 0.60 | 3.801 | - | - | - | - | - | 5.875 | 10.36 | 23.056 | 22.143 |
| | 0.90-2.40 | 1.65 | - | - | - | - | - | 0.547 | 1.57 | 2.047 | | |
| | 2.40-3.60 | 3.00 | - | - | - | - | - | - | 0.00 | 0.040 | | |
| PRIMA VERA | 0.30-0.90 | 0.60 | - | - | - | - | 0.893 | 9.529 | 10.36 | 20.792 | 25.92 | |
| | 0.90-2.40 | 1.65 | - | - | - | - | - | 1.748 | 3.47 | 5.178 | | |
| | 2.40-3.60 | 3.00 | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| VERANO | 0.30-0.90 | 0.60 | - | 2.180 | 5.549 | 0.869 | - | 6.342 | 7.88 | 22.780 | 26.789 | |
| | 0.90-2.40 | 1.65 | - | - | 0.654 | - | - | 1.335 | 1.81 | 3.869 | | |
| | 2.40-3.60 | 3.00 | - | - | 0.084 | - | - | 0.056 | - | 0.140 | | |
| OTOÑO | 0.30-0.90 | 0.60 | - | 1.773 | 2.526 | 2.626 | 0.859 | 5.375 | 7.60 | 20.959 | 25.125 | |
| | 0.90-2.40 | 1.65 | - | - | 0.938 | - | - | 1.076 | 1.81 | 3.824 | | |
| | 2.40-3.60 | 3.00 | - | - | 0.187 | - | - | 0.135 | 0.02 | 0.342 | | |
| ANUAL | 0.30-0.90 | 0.60 | 3.801 | 3.953 | 8.075 | 3.495 | 1.752 | 27.121 | 36.34 | 84.537 | 99.977 | |
| | 0.90-2.40 | 1.65 | - | - | 1.592 | - | - | 4.706 | 8.62 | 14.918 | | |
| | 2.40-3.60 | 3.00 | - | - | 0.271 | - | - | 0.191 | 0.06 | 0.572 | | |
| TOTAL | | | 3.801 | 3.953 | 9.938 | 3.495 | 1.752 | 32.018 | 45.02 | 99.977 | 99.977 | |

Fuente: CARTAS DEL SEGURO DEL AGUA, Zona 6

Nota: - El porcentaje se calculó tomando como 100% el número de horas de acción registradas (2941.32 hrs.)

T A B L A 4.1.2
ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL OLEAJE
LAGUNA DE CUYUTLAN, COL.
DE ACCIÓN ESTACIONAL Y ANUAL DE ALTURAS DEL OLEAJE EN AGUAS PROFUNDAS POR DIRECCION
OLEAJE DISTANTE

| ESTACION | RANGO DE ALTURA (m) | ALTURA MEDIA (m) | D I R E C C I O N | | | | | | S U M A S | |
|------------|---------------------|------------------|-------------------|-------|--------|--------|--------|--------|-----------|--------|
| | | | N | SE | S | SW | W | NW | PARCIAL | TOTAL |
| INVIERNO | 0.30-1.82 | 1.06 | 0.898 | - | - | - | 7.572 | 6.715 | 15.185 | 19.075 |
| | 1.82-3.65 | 2.73 | - | - | - | 0.491 | 0.943 | 1.434 | | |
| | 3.65-4.86 | 4.25 | - | - | - | 0.058 | 2.398 | 2.456 | | |
| PRIMA VERA | 0.30-1.82 | 1.06 | - | - | 1.327 | 3.024 | 10.218 | 7.416 | 21.985 | 24.606 |
| | 1.82-3.65 | 2.73 | - | - | - | - | 1.337 | 1.177 | 2.514 | |
| | 3.65-4.86 | 4.25 | - | - | - | - | 0.078 | 0.029 | 0.107 | |
| VERANO | 0.30-1.82 | 1.06 | - | 4.413 | 6.668 | 4.399 | 4.933 | 3.116 | 23.529 | 27.611 |
| | 1.82-3.65 | 2.73 | - | - | 1.149 | 1.095 | 0.844 | - | 3.088 | |
| | 3.65-4.86 | 4.25 | - | - | 0.446 | 0.428 | 0.120 | - | 0.994 | |
| OTOÑO | 0.30-1.82 | 1.06 | - | 4.161 | 4.618 | 2.916 | 6.246 | 5.209 | 23.150 | 28.691 |
| | 1.82-3.65 | 2.73 | - | - | 1.131 | 0.812 | 1.508 | 0.631 | 4.082 | |
| | 3.65-4.86 | 4.25 | - | - | 0.534 | 0.376 | 0.530 | 0.019 | 1.459 | |
| A N U A L | 0.30-1.82 | 1.06 | 0.898 | 8.574 | 12.613 | 10.339 | 28.969 | 22.456 | 83.849 | 99.983 |
| | 1.82-3.65 | 2.73 | - | - | 2.280 | 1.907 | 4.180 | 2.751 | 11.118 | |
| | 3.65-4.86 | 4.25 | - | - | 0.980 | 0.804 | 0.786 | 2.446 | 5.016 | |
| TOTAL | | | 0.898 | 8.574 | 15.873 | 13.050 | 33.935 | 27.653 | 99.983 | 99.983 |

Fuente: Carlos del Sol and Swell. Zona 6

Nota: El porcentaje se calculó tomando como 100% el número de horas de acción registradas (2669.22 hrs).

T A B L A 4.1.3
 ANALISIS ESTADISTICO DEL OLAJE
 LAGUNA DE CUATLAN, COL.
 ALTURAS DE OLA SIGNIFICANTE
 OLAJE TIPO LOCAL.

| PARAMETRO | ESTACION | D I R E C C I O N | | | | | | | |
|---------------|-----------|-------------------|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
| H sig. (m) | INVIERNO | 0.800 | - | - | - | - | - | 1.273 | 1.521 |
| | PRIMAVERA | - | - | - | - | - | 0.800 | 1.518 | 1.839 |
| | VERANO | - | - | 0.800 | 1.322 | 0.800 | - | 1.713 | 1.718 |
| | OTOÑO | - | - | 0.800 | 1.713 | 0.800 | 0.800 | 1.709 | 1.669 |
| | ANUAL | 0.800 | - | 0.800 | 1.477 | 0.800 | 0.800 | 1.553 | 1.699 |

OLAJE TIPO DISTANTE

| PARAMETRO | ESTACION | D I R E C C I O N | | | | | | | |
|---------------|-----------|-------------------|----|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
| H sig. (m) | INVIERNO | 1.566 | - | - | - | - | - | 1.897 | 2.846 |
| | PRIMAVERA | - | - | - | - | 1.566 | 1.566 | 2.128 | 2.200 |
| | VERANO | - | - | - | 1.566 | 2.539 | 2.814 | 2.253 | 1.566 |
| | OTOÑO | - | - | - | 1.566 | 2.879 | 2.855 | 2.702 | 2.066 |
| | ANUAL | - | - | - | 1.566 | 2.586 | 2.513 | 2.235 | 2.325 |

Fuente: Charts del Sea and Swell, ZONA 6.

T A B L A 4.1.4.
 ANALISIS ESTADISTICO DEL OLEAJE
 LAGUNA DE CUYUTLAN, COL.
 PORCENTAJE DE ACTUACION DE LAS ALTURAS DEL OLEAJE EN AGUAS PROFUNDAS
 % DE ACCION ANUAL PARA CADA DIRECCION

| DIRECCION | RANGOS DE ALTURAS DEL OLEAJE (metros) | | | | | | | | | |
|-----------|---------------------------------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0.25 | 0.50 | 1.00 | 1.50 | 2.00 | 2.50 | 3.00 | 3.50 | 4.00 | 4.50 |
| 000 (N) | 0.928 | 1.605 | 1.810 | 0.897 | 0.551 | 0.299 | 0.267 | 0.094 | 0.078 | 0.078 |
| 030 | 0.582 | 1.039 | 1.668 | 0.850 | 0.314 | 0.141 | 0.031 | 0.047 | - | 0.078 |
| 060 | 0.645 | 1.511 | 2.755 | 1.416 | 0.393 | 0.204 | 0.062 | 0.031 | 0.031 | 0.047 |
| 090 (E) | 0.566 | 1.243 | 1.794 | 1.385 | 0.440 | 0.110 | 0.078 | 0.078 | 0.047 | - |
| 120 | 0.299 | 0.960 | 2.093 | 1.353 | 0.393 | 0.110 | 0.062 | 0.031 | 0.015 | - |
| 150 | 0.251 | 0.566 | 1.952 | 1.574 | 0.692 | 0.141 | 0.062 | - | 0.031 | 0.015 |
| 180 (S) | 0.393 | 0.818 | 1.353 | 2.015 | 0.582 | 0.362 | 0.110 | 0.125 | 0.047 | 0.062 |
| 210 | 0.613 | 0.834 | 1.227 | 1.054 | 0.393 | 0.220 | 0.173 | 0.015 | 0.015 | 0.015 |
| 240 | 1.747 | 2.707 | 2.959 | 1.275 | 0.503 | 0.062 | 0.220 | 0.110 | 0.031 | 0.015 |
| 270 (W) | 2.188 | 3.888 | 5.305 | 2.629 | 0.409 | 0.157 | 0.110 | 0.015 | - | 0.031 |
| 300 | 1.653 | 2.629 | 2.660 | 1.322 | 0.818 | 0.220 | 0.141 | 0.062 | 0.031 | - |
| 330 | 1.290 | 1.385 | 1.889 | 1.353 | 0.409 | 0.346 | 0.236 | 0.078 | 0.015 | 0.047 |
| TOTAL | 11.155 | 19.185 | 27.465 | 17.123 | 5.897 | 2.372 | 1.552 | 0.686 | 0.341 | 0.388 |

Fuente: Tablas del Libro OCEAN WAVE STATISTICS. ZONA XXII.

T A B L A 4.1.4. . . (CONTINUACION)
 ANALISIS ESTADISTICO DEL OLEAJE
 LAGUNA DE CUYUTLAN, COL.
 PORCENTAJE DE ACTUACION DE LAS ALTURAS DEL OLEAJE EN AGUAS PROFUNDAS
 % DE ACCION ANUAL PARA CADA DIRECCION.

| DIRECCION | RANGOS DE ALTURAS DEL OLEAJE (metros) | | | | | | | TOTAL |
|-----------|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | 5.00 | 5.50 | 6.00 | 6.50 | 7.00 | 7.50 | 8.00 | % |
| 000 (N) | 0.031 | - | 0.031 | 0.015 | - | 0.015 | - | 6.699 |
| 030 | - | - | - | 0.015 | 0.015 | 0.031 | - | 4.817 |
| 060 | - | - | - | - | - | - | - | 7.095 |
| 090 (E) | - | 0.031 | - | 0.015 | - | - | - | 5.787 |
| 120 | - | - | - | - | - | - | - | 5.316 |
| 150 | - | - | - | - | - | - | - | 5.284 |
| 180 (S) | - | - | - | - | - | - | - | 5.867 |
| 210 | - | - | - | - | - | - | - | 4.559 |
| 240 | 0.015 | - | - | - | - | - | - | 9.644 |
| 270 (W) | - | - | 0.047 | - | - | - | - | 14.779 |
| 300 | - | - | - | - | - | - | - | 9.536 |
| 330 | 0.031 | - | - | 0.015 | - | - | 0.015 | 7.109 |
| TOTAL | 0.077 | 0.031 | 0.078 | 0.060 | 0.015 | 0.046 | 0.015 | 86.486 |

Fuente: Tablas del Libro OCEAN WAVE STATISTICS. ZONA XXII.

T A B L A 4.1.5
ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL OLEAJE
LAGUNA DE CUYUTLAN, COL.
PORCENTAJES DE ACTUACION DE ALTURAS Y PERIODOS DEL OLEAJE POR RANGOS
RESUMEN ANUAL PARA TODAS LAS DIRECCIONES

| T (seg) H (m) | CALMAS | < 5 | 6-7 | 8-9 | 10-11 | 12-13 | 14-15 | 16-17 | 18-19 | 20-21 | ≥ 21 | TOTAL % |
|------------------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|
| 0.25 | 11.476 | 10.563 | 0.189 | - | 0.031 | - | 0.031 | 0.015 | - | 0.126 | 0.204 | 22.635 |
| 0.50 | 0.629 | 15.947 | 1.637 | 0.566 | 0.173 | 0.031 | 0.015 | 0.031 | - | - | 0.787 | 19.816 |
| 1.00 | 0.850 | 16.813 | 7.540 | 2.030 | 0.503 | 0.220 | 0.094 | 0.031 | - | 0.062 | 0.173 | 28.316 |
| 1.50 | 0.267 | 5.541 | 7.540 | 2.518 | 1.086 | 0.267 | 0.125 | 0.015 | - | 0.031 | - | 17.390 |
| 2.00 | 0.125 | 0.865 | 2.581 | 1.401 | 0.692 | 0.330 | 0.031 | - | - | - | - | 6.025 |
| 2.50 | 0.015 | 0.204 | 0.724 | 0.976 | 0.346 | 0.062 | 0.015 | 0.031 | 0.015 | - | - | 2.388 |
| 3.00 | 0.031 | 0.031 | 0.456 | 0.551 | 0.299 | 0.204 | 0.015 | - | - | - | - | 1.587 |
| 3.50 | - | 0.015 | 0.251 | 0.204 | 0.094 | 0.062 | 0.047 | 0.015 | - | - | - | 0.680 |
| 4.00 | - | - | 0.062 | 0.125 | 0.125 | 0.031 | - | - | - | - | - | 0.343 |
| 4.50 | 0.031 | - | 0.047 | 0.141 | 0.094 | 0.062 | 0.031 | 0.015 | - | - | - | 0.421 |
| 5.00 | - | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.031 | - | - | - | - | - | - | 0.076 |
| 5.50 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.045 |
| 6.00 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.031 | 0.015 | - | - | - | - | - | - | 0.071 |
| 6.50 | - | - | 0.015 | 0.031 | - | 0.015 | - | - | - | - | - | 0.061 |
| 7.00 | - | - | 0.015 | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.015 |
| 7.50 | - | - | - | 0.031 | 0.015 | - | - | - | - | - | - | 0.044 |
| 8.00 | - | - | - | 0.015 | - | - | - | - | - | - | - | 0.015 |
| TOTAL C | 13.454 | 50.024 | 21.102 | 8.635 | 3.504 | 1.284 | 0.404 | 0.153 | 0.015 | 0.219 | 1.164 | 23.271 |

Fuente: Tablas del Libro OCEAN WAVE STATISTICS, ZONA XXII.

TABLA 4.1.6

ANALISIS ESTADISTICO DEL OLAJE
LAGUNA DE CUYUTLAN, CGL.
ALTURAS Y PERIODOS SIGNIFICANTES DEL OLAJE

| PARAMETRO | ESTACION | D I R E C C I O N | | | | | | | | | | | |
|------------------|------------|-------------------|-------|-------|---------|--------|--------|---------|-------|--------|---------|-------|-------|
| | | 000(N) | 030 | 060 | 090 (E) | 120 | 150 | 180 (S) | 210 | 240 | 270 (W) | 300 | 330 |
| H sig. (m) | INVIERNO | 2.760 | 2.359 | 2.156 | 1.790 | 1.137 | 1.223 | 1.103 | 0.996 | 0.985 | 1.374 | 1.831 | 2.661 |
| | PRIMA VERA | 2.036 | 1.896 | 1.348 | 1.349 | 1.274 | 1.684 | 1.316 | 1.247 | 1.081 | 1.255 | 1.619 | 1.675 |
| | VERANO | 1.852 | 1.809 | 1.632 | 2.150 | 1.803 | 1.908 | 2.305 | 2.023 | 2.266 | 1.642 | 1.283 | 1.726 |
| | OTONO | 2.392 | 1.920 | 1.485 | 1.693 | 1.620 | 1.665 | 2.008 | 2.124 | 1.876 | 1.552 | 1.675 | 1.741 |
| | ANUAL | 2.395 | 2.050 | 1.658 | 1.862 | 1.617 | 1.745 | 2.086 | 1.896 | 1.647 | 1.435 | 1.686 | 2.091 |
| T sig. (seg.) | INVIERNO | 8.551 | 7.704 | 8.782 | 6.302 | 9.905 | 10.986 | 12.032 | 7.955 | 6.840 | 7.637 | 7.657 | 7.939 |
| | PRIMA VERA | 7.708 | 9.089 | 7.038 | 7.891 | 9.370 | 12.360 | 7.461 | 8.757 | 7.036 | 6.595 | 9.516 | 7.460 |
| | VERANO | 7.233 | 8.200 | 8.318 | 7.634 | 7.872 | 9.522 | 9.024 | 8.504 | 9.824 | 15.113 | 6.360 | 8.192 |
| | OTONO | 8.236 | 9.035 | 7.199 | 7.387 | 10.229 | 9.381 | 9.961 | 9.431 | 10.251 | 10.621 | 7.000 | 7.155 |
| | ANUAL | 6.945 | 7.285 | 6.943 | 6.629 | 9.497 | 9.286 | 9.432 | 7.771 | 7.510 | 8.122 | 6.250 | 6.446 |

Fuente: Tablas del OCEAN WAVE STATISTICS. ZONA XXII.

TABLA 22 4.1.7
 ANALISIS ESTADISTICO DEL OLEAJE
 LAGUNA DE CUYUTLAN, COL.

% DE ACCION ANUAL DE ALTURAS DEL OLEAJE POR DIRECCION

* OLEAJE LOCAL

| DIRECCION (GRADOS) | H (cm) | 1.11 a | 0.26 a | 1.26 a | 2.26 a | 3.26 a | 4.26 a | 5.26 a | 6.26 a | 7.26 a | 76.26 | TOTAL |
|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|--------|
| 045-044 | 1.11 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 12.49 |
| 045-084 | 0.93 | 2.00 | 0.17 | 0.04 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 3.14 |
| 045-124 | 1.48 | 4.59 | 1.38 | 0.34 | 0.17 | 0.04 | --- | --- | --- | --- | --- | 3.57 |
| 125-164 | 1.05 | 4.91 | 0.35 | 0.22 | 0.04 | 0.04 | --- | --- | --- | --- | --- | 8.45 |
| 165-204 | 1.09 | 2.73 | 0.43 | 0.11 | 0.06 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 6.26 |
| 205-244 | 1.43 | 3.12 | 0.43 | 0.17 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 4.41 |
| 245-284 | 3.74 | 11.91 | 1.57 | 0.19 | 0.04 | --- | 0.04 | --- | --- | --- | --- | 5.25 |
| 285-324 | 4.71 | 20.71 | 7.80 | 0.09 | 0.06 | 0.04 | --- | --- | --- | --- | --- | 19.61 |
| 325-004 | 2.16 | 5.31 | 0.35 | --- | 0.02 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 38.41 |
| TOTAL | 20.85 | 53.94 | 8.26 | 1.23 | 0.43 | 0.13 | 0.09 | 0.06 | 0.00 | 0.03 | | |
| ACUMULADO | 20.85 | 84.78 | 93.04 | 99.27 | 99.70 | 99.83 | 99.91 | 99.98 | 99.98 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |

NOTAS: Total de observaciones = 4650

FUENTE: National Oceanic and Atmospheric Administration.

TABLA N° 4.1.1
 ANALISIS ESTADISTICO DEL OLEAJE
 LAGUNA DE CUYOTLAN, COG.
 % DE ACCION ANUAL DE ALTURAS DE OLA POR DIRECCION

OLEAJE DISTANTE

| DIRECCION (360°/90°) | H (m) | 0.00 | 0.25 | 1.25 | 2.25 | 3.25 | 4.25 | 5.25 | 6.25 | 7.25 | 7.25 | TOTAL |
|-------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------|------|------|--------|
| | a | a | a | a | a | a | a | a | a | a | a | |
| | | 0.25 | 1.25 | 2.25 | 3.25 | 4.25 | 5.25 | 6.25 | 7.25 | 8.25 | | |
| 000-044 | 7.99 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 7.99 |
| 045-091 | 0.08 | 0.35 | 0.30 | 0.03 | 0.04 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 0.95 |
| 092-138 | --- | 0.38 | 0.57 | 0.12 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 1.10 |
| 139-184 | 0.08 | 1.07 | 1.67 | 0.45 | 0.27 | 0.15 | 0.11 | --- | --- | --- | --- | 4.70 |
| 185-231 | 0.04 | 5.30 | 5.76 | 1.36 | 0.27 | 0.11 | 0.04 | --- | --- | --- | --- | 13.38 |
| 232-278 | 0.04 | 7.54 | 8.07 | 1.17 | 0.30 | 0.21 | --- | --- | --- | --- | --- | 17.39 |
| 279-324 | 0.08 | 4.02 | 3.45 | 1.39 | 0.34 | 0.11 | --- | --- | --- | --- | --- | 9.37 |
| 325-371 | 0.11 | 10.05 | 8.33 | 1.10 | 0.15 | 0.08 | --- | --- | --- | --- | --- | 17.77 |
| 372-417 | 0.09 | 13.00 | 7.73 | 0.88 | 0.08 | 0.08 | --- | --- | --- | --- | --- | 21.72 |
| 418-464 | 0.11 | 3.76 | 1.60 | 0.11 | 0.09 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 5.68 |
| TOTAL | | 3.64 | 47.50 | 33.92 | 6.40 | 1.62 | 0.87 | 0.15 | | | | 100.00 |
| ACUMULADO | | 3.64 | 56.14 | 91.06 | 97.46 | 98.88 | 99.85 | 100.00 | | | | |

Total de observaciones = 2840

Fuente: National Oceanic and Atmospheric Administration.

TABLA Nº 4.1.9
ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL OLEAJE
LAGUNA DE CUYUTLAN, COL.
% DE ACCION ANUAL DE PERIODOS DE OLA POR DIRECCION

OLEAJE LOCAL

| T VIREV. (SEG) (GRADOS) | CALM. N. DET. | 1-4 | 6-7 | 8-9 | 10-11 | 12-13 | 14-15 | 16-17 | 18-19 | > 20 | TOTAL |
|-------------------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|------|--------|
| CALMA | 8.15 | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | 8.15 |
| 005-094 | 0.39 | 3.79 | 0.09 | 0.02 | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | 3.29 |
| 015-094 | 0.75 | 3.20 | 0.21 | 0.07 | 0.05 | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | 3.78 |
| 085-124 | 0.46 | 7.43 | 0.72 | 0.23 | 0.07 | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | 8.91 |
| 175-164 | 0.63 | 5.00 | 0.58 | 0.23 | 0.05 | 0.05 | ---- | 0.02 | ---- | ---- | 6.56 |
| 165-204 | 0.37 | 3.47 | 0.53 | 0.23 | 0.05 | 0.02 | 0.02 | ---- | ---- | ---- | 4.69 |
| 205-244 | 0.55 | 4.35 | 0.19 | 0.12 | 0.09 | 0.09 | ---- | ---- | ---- | ---- | 5.49 |
| 215-294 | 1.69 | 17.51 | -1.11 | 0.35 | 0.14 | 0.02 | ---- | ---- | ---- | ---- | 20.82 |
| 325-324 | 1.71 | 25.29 | 1.87 | 0.58 | 0.07 | 0.05 | ---- | ---- | ---- | ---- | 29.51 |
| 325-004 | 0.66 | 7.55 | 0.38 | 0.21 | 0.12 | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | 8.82 |
| TOTAL | 11.95 | 76.59 | 5.52 | 2.04 | 0.64 | 0.23 | 0.02 | 0.02 | | | 100.00 |
| ACUMULADO | 11.95 | 91.53 | 97.05 | 99.09 | 99.73 | 99.96 | 99.98 | 100.00 | | | |

Total de observaciones = 4318

Fuente: National Oceanic and Atmospheric Administration.

TABLA N^o 4.1.10
ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL OLEAJE
LAGUNA DE CUYUTLÁN, C.M.
% DE ACCIÓN ANUAL DE PERIODOS DE OLA POR DISEÑOS

OLEAJE DISTANTE

| DIRCC. (SE ^o) (GRADOS) | CIEN. N.º DE T. | 1-5 | 6-7 | 8-9 | 10-11 | 12-13 | 14-15 | 16-17 | 18-19 | 20 | TOTAL |
|---------------------------------------|--------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------|-------|--------------|
| CALMA | 3.32 | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | 3.32 |
| 045-044 | 0.29 | 0.53 | 0.08 | 0.12 | 0.18 | 0.31 | 0.04 | ----- | ----- | ----- | 1.05 |
| 045-084 | ----- | 0.40 | 0.28 | 0.16 | 0.04 | 0.08 | 0.15 | ----- | ----- | ----- | 1.08 |
| 045-124 | 0.05 | 2.02 | 1.29 | 0.61 | 0.56 | 0.56 | 0.16 | ----- | ----- | ----- | 4.88 |
| 735-184 | 0.28 | 4.05 | 4.89 | 2.47 | 1.33 | 0.77 | 0.28 | ----- | ----- | ----- | 14.07 |
| 105-201 | 0.41 | 4.09 | 5.29 | 3.91 | 2.11 | 1.15 | 0.69 | 0.04 | ----- | ----- | 18.66 |
| 205-244 | 0.09 | 3.33 | 2.63 | 1.77 | 1.05 | 0.65 | 0.40 | ----- | ----- | ----- | 9.79 |
| 245-284 | 0.21 | 2.12 | 6.07 | 3.43 | 1.93 | 0.39 | 0.39 | ----- | ----- | ----- | 18.73 |
| 245-324 | 0.28 | 0.26 | 5.05 | 2.39 | 1.13 | 1.25 | 1.05 | ----- | ----- | ----- | 22.40 |
| 325-001 | 0.20 | 2.67 | 1.50 | 0.63 | 0.57 | 0.49 | 0.24 | ----- | ----- | ----- | 6.16 |
| TOTAL | 5.00 | 33.88 | 28.62 | 15.54 | 7.35 | 5.44 | 3.87 | 0.04 | | | 89.96 |
| ACUMULADO | 5.00 | 38.86 | 67.44 | 82.98 | 90.71 | 96.05 | 99.92 | 99.96 | | | |

Total de observaciones = 2470

Fuente: National Bureau of Atmospheric Administration.

T A B L A N° 4.1.11
ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL OLEAJE
LAGUNA DE CUYUTLAN, COL.
% DE ACCIÓN ANUAL DE ALTURAS Y PERIODOS DE OLA

OLEAJE LOCAL.

| PERIODO (segundos) | 0.00 | 0.26 | 1.26 | 2.26 | 3.26 | 4.26 | 5.26 | 6.26 | 7.26 | > 8.26 | TOTAL | ACUM. |
|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|-------|-------|
| | a 0.25 | a 1.25 | a 2.25 | a 3.25 | a 4.25 | a 5.25 | a 6.25 | a 7.25 | a 8.25 | | | |
| AL/M. DE T | 13.17 | 1.07 | 0.09 | 0.09 | 0.02 | 0.02 | 0.00 | - | | | 14.46 | 14.46 |
| 1-5 | 15.62 | 55.90 | 5.16 | 0.50 | 0.15 | 0.07 | 0.02 | - | | | 77.42 | 91.88 |
| 6-7 | 0.17 | 2.56 | 2.03 | 0.28 | 0.13 | - | 0.04 | 0.02 | | | 5.23 | 97.11 |
| 8-9 | 0.02 | 0.98 | 0.61 | 0.28 | 0.07 | 0.02 | - | 0.02 | | | 2.00 | 99.11 |
| 10-11 | 0.02 | 0.26 | 0.22 | 0.09 | - | 0.02 | - | - | | | 0.61 | 99.72 |
| 12-13 | - | 0.11 | 0.09 | 0.02 | - | - | - | - | | | 0.22 | 99.94 |
| 14-15 | - | - | 0.02 | - | - | - | - | - | | | 0.02 | 99.96 |
| 16-17 | - | - | 0.02 | - | - | - | - | - | | | 0.02 | 99.98 |
| 18-19 | | | | | | | | | | | | |
| > 20 | | | | | | | | | | | | |
| TOTAL | 29.00 | 69.88 | 8.24 | 1.26 | 0.37 | 0.13 | 0.06 | 0.04 | | | | |
| ACUMULADO | 29.00 | 89.88 | 98.12 | 99.38 | 99.75 | 99.88 | 99.94 | 99.98 | | | | |

total de Observaciones = 4578

fuentes: National Oceanic and Atmospheric Administration.

TABLA 4.1.12

ANALISIS ESTADISTICO DEL OLEAJE
LAGUNA DE CUYUTLAN, COL.
S DE ACCION ANUAL DE ALTURAS Y PERIODOS DE OLA

OLEAJE DISTANTE

| PERIODO (SEGUNDOS) | H (m) | 0.00 | 0.26 | 1.26 | 2.26 | 3.26 | 4.26 | 5.26 | 6.26 | 7.26 | V8,36 | TOTAL | ACUM. |
|-----------------------|----------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|
| | a | a | a | a | a | a | a | a | a | | | | |
| CAL/N.DET. | | 3.42 | 2.88 | 1.32 | 0.18 | --- | 0.04 | --- | --- | --- | --- | 7.20 | 7.20 |
| 1-5 | | 0.27 | 20.76 | 10.42 | 1.05 | 0.27 | 0.12 | 0.04 | --- | --- | --- | 32.93 | 40.13 |
| 6-7 | | 0.08 | 12.71 | 11.31 | 2.80 | 0.58 | 0.23 | --- | --- | --- | --- | 27.71 | 67.84 |
| 8-9 | | 0.04 | 5.99 | 7.00 | 1.32 | 0.31 | 0.27 | 0.04 | --- | --- | --- | 14.97 | 82.81 |
| 10-11 | | 0.97 | 3.07 | 2.99 | 0.70 | 0.19 | 0.19 | 0.08 | --- | --- | --- | 8.19 | 91.00 |
| 12-13 | | --- | 2.64 | 2.02 | 0.39 | 0.12 | 0.04 | --- | --- | --- | --- | 5.21 | 96.21 |
| 14-15 | | --- | 3.00 | 1.40 | 0.19 | 0.04 | 0.04 | --- | --- | --- | --- | 3.73 | 99.94 |
| 16-17 | | --- | --- | 0.04 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 0.04 | 99.98 |
| 18-19 | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| >20 | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| TOTAL | | 4.78 | 49.49 | 39.50 | 6.61 | 1.51 | 0.93 | 0.18 | --- | --- | --- | --- | --- |
| ACUMULADO | | 4.78 | 54.27 | 90.77 | 97.38 | 98.89 | 99.82 | 99.98 | --- | --- | --- | --- | --- |

TOTAL DE OBSERVACIONES = 8671

FUENTE: NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION.

| FUENTE | FRECUENCIA | | | Hs | Ts |
|------------------------|--------------|-------------|--------------|------|------|
| | N | NW | S | m | seg |
| SEA AND SWELL | 33.9 | 27.6 | 15 | 2.32 | |
| OCEAN WAVES STATISTICS | 270(N) | 240(SW) | 300(NE) | | |
| | 14.78 | 9.64 | 9.53 | 1.43 | 8.12 |
| NATIONAL OCEANIC | 285-324 (NW) | 245-284 (W) | 165-204 (SE) | | |
| | 21.72 | 17.77 | 17.39 | 1.90 | 9.75 |

TABLA 4.1.13 RESUMEN COMPARATIVO OLEAJE NORMAL

Con el fin de obtener los parámetros del oleaje en sus condiciones más desfavorables, se llevó a cabo un análisis de los ciclones habidos en los últimos 50 años, que han afectado la costa de Colima. De estos se escogieron el "Aghata", "Andrés" e "Ignacio" por la importancia de sus efectos sobre el oleaje. Los datos sobre estos ciclones fueron recabados en las siguientes fuentes:

- a) "Trayectorias ciclónicas 1960-1980", publicadas por la Dirección General del Servicio Meteorológico Nacional (D.G.S.M.N.).
- b) "Cartas de previsión del tiempo del 1 al 30 de junio de 1975", publicadas por la Dirección General del S.M.N.
- c) "Cartas de previsión del tiempo del 1 al 30 de junio y del 1 al 31 de octubre de 1979", publicados por la D.G.S.M.N.

Para llevar a cabo un estudio de propagación del oleaje hacia el punto donde se proyecta el canal, se buscó un modelo matemático que se ajustara a las características de los ciclones escogidos. El método usado fue el de Bretschneider. Para la aplicación de este método fue necesario contar con los siguientes datos de cada ciclón en la zona:

P_n = Presión normal en milibares

P_c = Presión en el centro del Huracán en milibares

R = Radio del viento máximo en kilómetros

f = Parámetro de Coriolis en rad/hr .

$V_{m\acute{a}x}$ = Velocidad máxima del centro en Km / hr

V_r = Velocidad máxima sostenida del viento en Km / hr

V_f = Velocidad de avance del ciclón en Km / hr

H_0 = Altura de ola significativa en aguas profundas, en metros

T_0 = Período de ola significativa en aguas profundas, en seg.

$A_p = P_n - P_0$

$n = 1$ para ciclones que se mueven a velocidades menores de 50 km/hr

ϕ = Latitud del lugar en grados centesimales

Las fórmulas utilizadas para obtener una estimación de la altura y período significativa del oleaje en aguas profundas fueron:

$$H_0 = 5.033 \left(e^{\frac{RA_p}{6.33 \times 10^3}} \right) \left(1 + \frac{0.153 \times V_f}{U_R \sqrt{2}} \right)$$

$$T_0 = 9.6 \left(e^{\frac{RA_p}{15.34 \times 10^3}} \right) \left(1 + \frac{0.026 \times V_f}{U_R \sqrt{2}} \right)$$

donde:

$$R = 28.52 \tan \alpha_p (0.0873 / \phi - 28^\circ) + 12.22 e^{\frac{\Delta p}{33.3}} + 0.2$$

$$V_f + 37.22$$

$$U_R = 0.865 V_{\max} + 0.5 V_f$$

$$w = \pi / 12 \text{ hr} [\text{rad/hr}]$$

$$U_{\max} = 20.167 \Delta p^{1/2} - R w \sin \phi$$

La presión en el centro del huracán se extrajo de las cartas de S.M.N., según las figuras 4.2.1 a 4.2.6. Los cálculos para obtener las características del oleaje en aguas profundas, H_0 y T_0 , se indican en la tabla 4.2.1.

Una vez determinadas las características del oleaje en aguas profundas, el siguiente paso fue propagarlo del límite de

aguas profundas hacia la costa, hasta una profundidad de 20.0 m. Para realizar lo anterior se utilizó el Portulano No. SM500 "Manzanillo a Punta Malcondado", para determinar las profundidades en el avance del huracán. La tabla 4.2.2 muestra los resultados del cálculo para el ciclón "Andrés", que es el que arrojó la altura máxima de ola. El procedimiento para el cálculo es el siguiente:

- Col. 1. Incremento entre secciones consideradas desde el límite de aguas profundas hasta 20m de profundidad en Km.
- Col. 2. Profundidad inicial de cada sección, en metros
- Col. 3. Profundidad final de cada sección, en metros
- Col. 4. Profundidad media de la sección considerada en metros
- Col. 5. Fetch efectivo, F_e en Km
- Col. 6. Altura de ola significativa, obtenida del 2° región en adelante con:
 $H_o = V_m (F_e / 22.168 \times 10^3)^{1/2}$
- Col. 7. Periodo de ola significativa, obtenido del 2° región en adelante con: $T_o = 3.86 H_o^{1/2}$
- Col. 8. Cociente de la columna 7 y 4
- Col. 9. Tablas de valores para K_s . El cual se obtiene entrando a las tablas con los valores de la Col. 8 en el libro "Ingeniería de Costas" Vol 1
- Col. 10. Pérdida de fricción igual a $A = (F_f \times H_o K_s) / d_o^2$
 donde $x = 736$ d. se considero $f = 0.01$
- Col. 11. Factor de fricción el cual se obtiene entrando a las gráficas con los valores de las Col. 8 y 10. Gráfica en "Ingeniería de Costas" Vol. 1
- Col. 12. Altura de ola equivalente en aguas profundas: $H'o = H_o K_f$

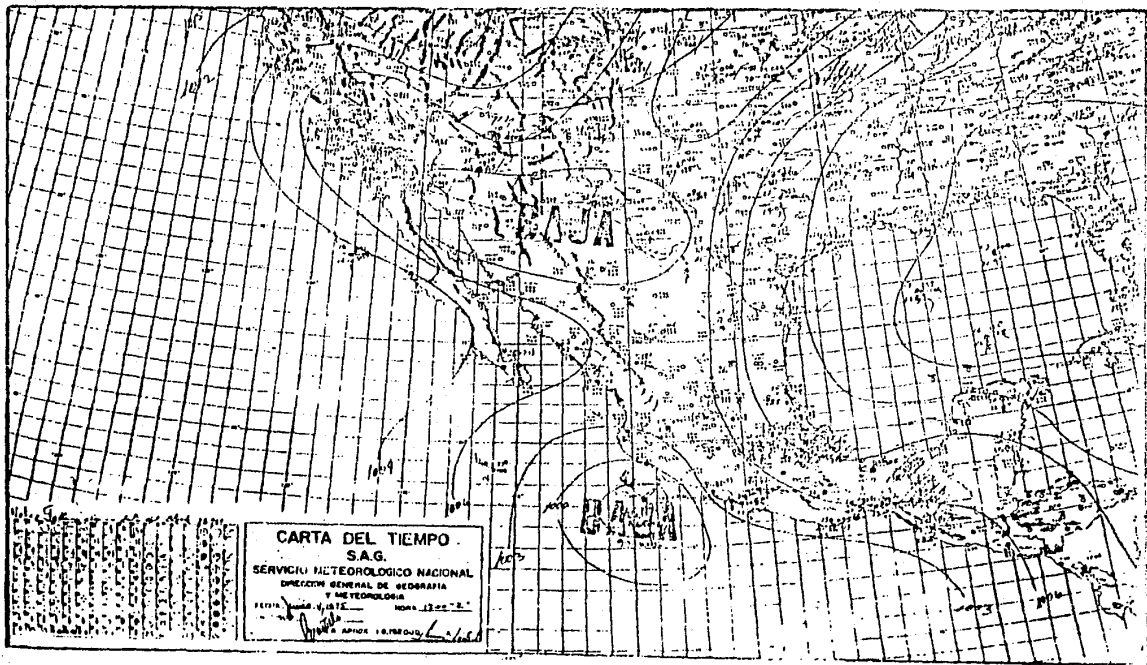
- Col. 13. Equivalente de la longitud del Fetch efectivo para H_0 y se obtiene con $F' = 22.168 \times 10^3 (H_0/U)^2$
- Col. 14. Se obtiene utilizando $T_0 = 3.86 H_0^{1/2}$
- Col. 15. Cociente de Col. 14 y 3
- Col. 16. Se obtiene con las tablas del "Manual de Protección de Costas", Vol. I, entrando con los valores de la Col. 15
- Col. 17. Altura de ola significativa, producto de las columnas 12 y 16
- Col. 18. Número de olas por hora y se obtiene con: $N = t/t_0$; $t_0 = RIVT$
- Col. 19. Altura de ola máxima probable que puede llegar a presentarse, en metros: $H_{max} = 0.707 H_s (\ln N)^{1/2}$

Utilizando el anterior método para cada ciclón mencionado, se obtuvo la tabla compartiva 4.2.3. En ésta se observa que la altura máxima de ola que afecta a la zona, es la provocada por el ciclón "Andrés" con una altura de 35.97 m y periodo de 17.6 seg, correspondiente a una altura de ola significativa de 30.41 metros.

4.3 Mareas.

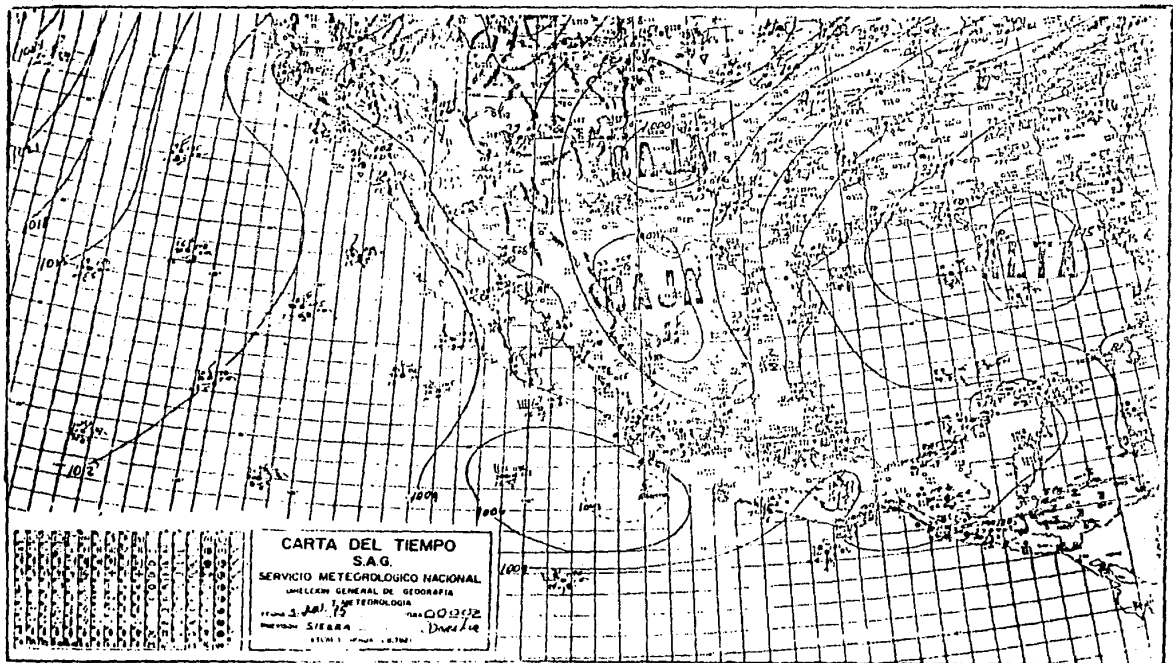
El fenómeno de las variaciones del nivel del mar es uno de los aspectos más importantes en el dimensionamiento de las obras marítimas. Las principales fuerzas que producen este movimiento son las de atracción del sol y la luna (gravitacionales), el efecto de Coriolis y las centrífugas, producidas por la rotación de la tierra.

Para conocer las características de este fenómeno del océano sobre la región del Malecón, se estimó conveniente usar las mediciones del mareógrafo del Puerto de Manzanillo, Colima. Este mareógrafo es operado por el Instituto de Geofísica de la



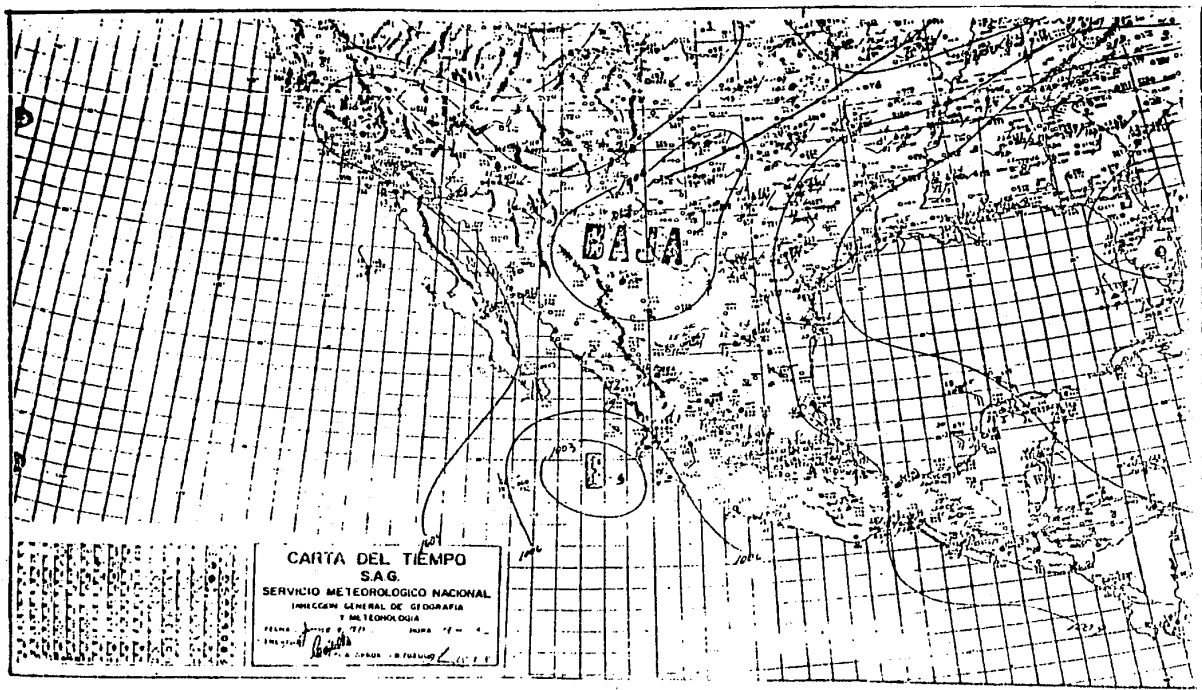
"AGATHA"

FIGURA 4.2.1



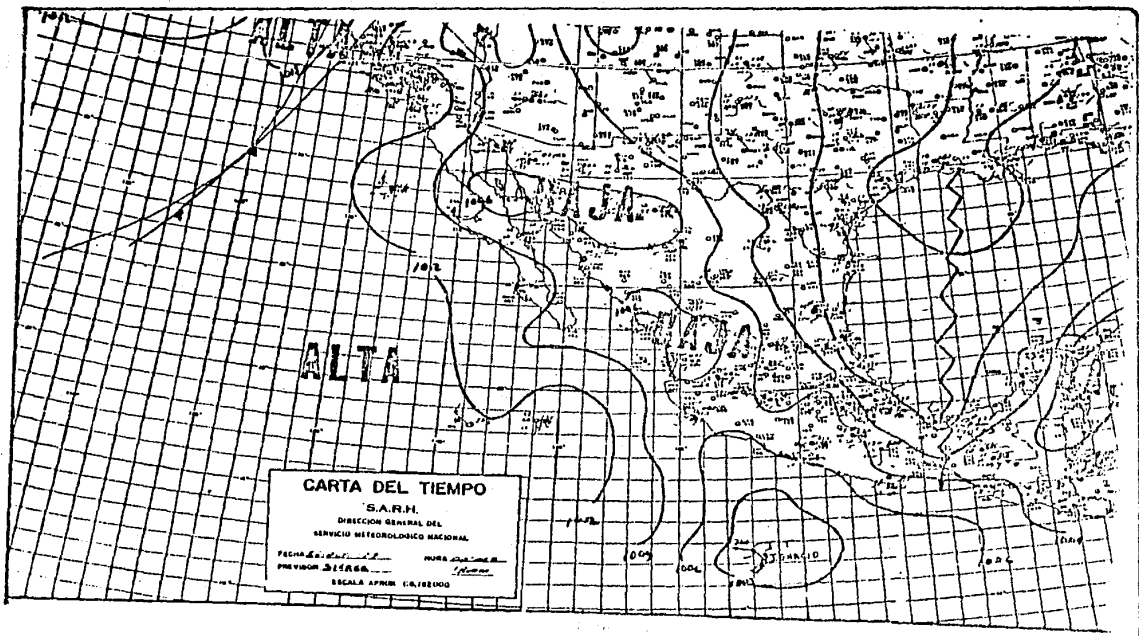
"AGATHA"

FIGURA 4.2.2



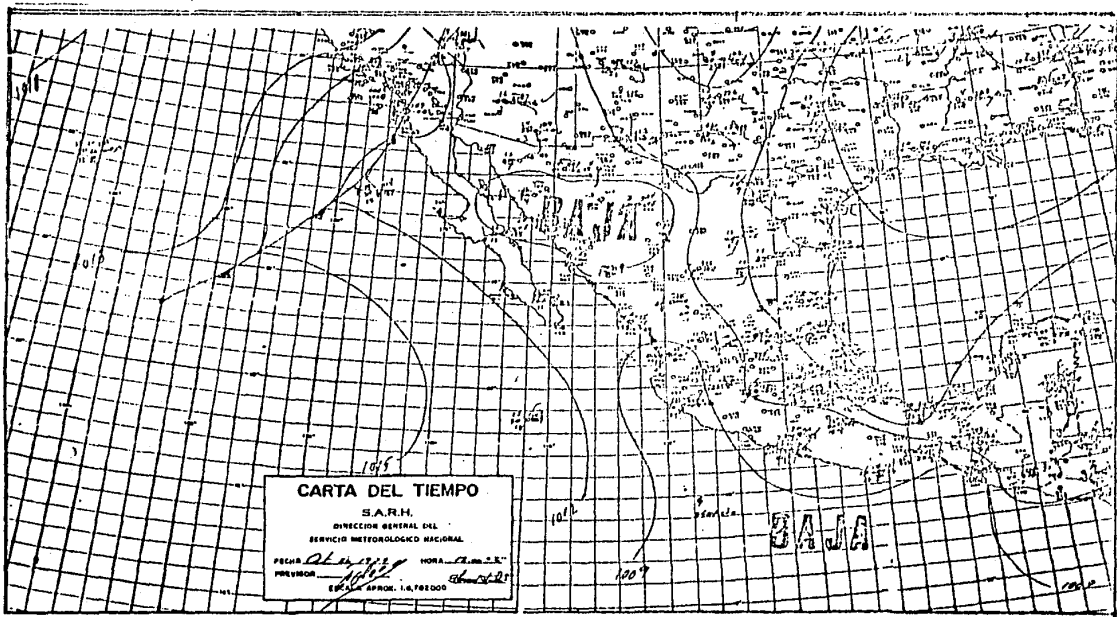
"AGATHA"

FIGURA 4.2.3



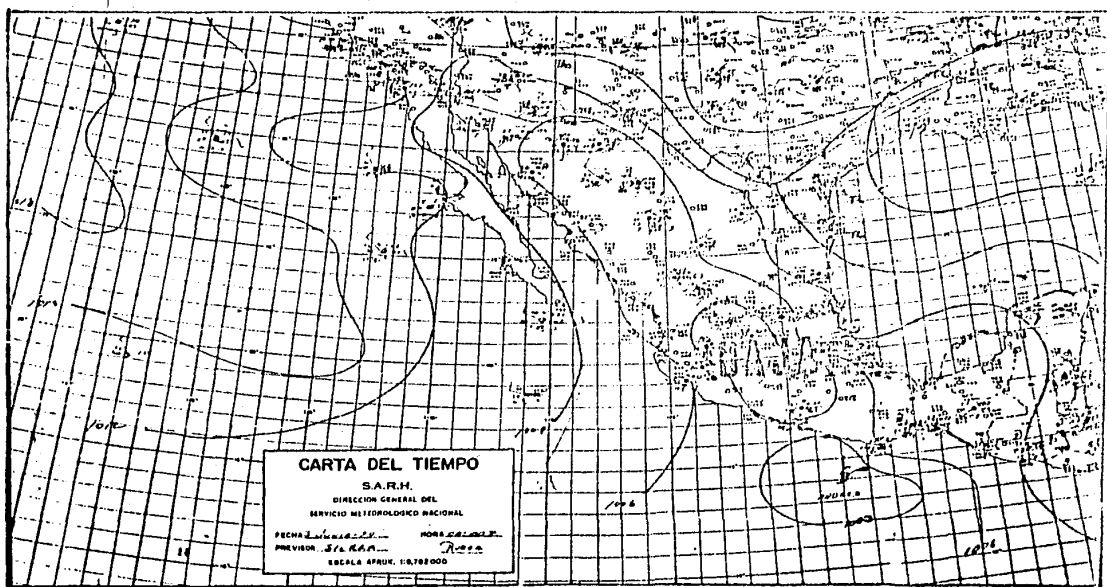
"IGNACIO"

FIGURA 4.2.4



"IGNACIO"

FIGURA 4.2.5



"ANDRES"

FIGURA 4.2.6

TABLA 4.2.1
CALCULO DE LA PRESION CENTRAL P_c EN EL CENTRO DEL HURACAN
HURACAN ANDRES (4-Junio 1979)
 $\phi = 17.1^\circ$ $V_c = 14.57$ nudos, $U = 85.25$ Nudos

| P_c | | R ₁₀ (Hog) (0.172-342) | E ₁₀ (m) (1393/2992) Pa (76.2/3) a Sea P-1/3 | E ₁₀ (m) (1393/2992) Pa (76.2/3) a Sea P-1/3 | F ₁₀ (m) (1393/2992) Pa (76.2/3) a Sea P-1/3 | F ₁₀ (m) (1393/2992) Pa (76.2/3) a Sea P-1/3 | F ₁₀ (m) (1393/2992) Pa (76.2/3) a Sea P-1/3 | F ₁₀ (m) (1393/2992) Pa (76.2/3) a Sea P-1/3 | F ₁₀ (m) (1393/2992) Pa (76.2/3) a Sea P-1/3 | F ₁₀ (m) (1393/2992) Pa (76.2/3) a Sea P-1/3 |
|-------|---------|-----------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (MBS) | (MM Hg) | | | | | | | | | |
| 1006 | 29.704 | 39.7832 | 40780.8417 | 88080.6519 | 64.8684 | 100.8564 | 4.8451 | 8.7574 | 28.37 | |
| 900 | 26.574 | 11.6842 | 440736.4946 | 570629.9148 | 241.9257 | 277.9137 | 2.7539 | 4.2617 | 45.00 | |
| 891 | 26.309 | 10.5317 | 449495.8181 | 577014.2076 | 244.5729 | 280.5609 | 2.8276 | 4.3032 | 45.04 | |
| 888 | 26.220 | 10.1719 | 451852.0682 | 578492.8012 | 245.2811 | 281.2691 | 2.8446 | 4.3127 | 45.05 | |
| 885 | 26.132 | 9.8265 | 453835.8751 | 579542.5597 | 245.876 | 281.864 | 2.8567 | 4.3195 | 45.06 | |
| 867 | 25.600 | 7.9799 | 460493.9509 | 579932.1462 | 247.8643 | 283.8523 | 2.8612 | 4.3222 | 44.904 | |
| 855 | 25.246 | 6.947 | 460254.1633 | 575024.9597 | 247.7929 | 283.7809 | 2.8047 | 4.2903 | 44.71 | |

TABLA 4.2.2
LAGUNA DE CUYUTLAN, COL.

PROPAGACION DEL GLEAJE CICLONICO
HACIA LA COSTA HURACAN ANDRES (4 Junio 1979)

| SECCION | X (Km) | d _i (m) | d _f (m) | d ₁ (m) | F ₀ (Km) | H ₀ (m) | T ₀ (seg) | T ₀ ² /d _i | K _{s1} [*] | A | K _f | H ₀ (m) | F ₀ (Km) | T ₀ (seg) | T ₀ ² /d _f | K _{s2} | H ₀ (m) | N | H más (m) |
|---------|-----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|---|------------------------------|-------|----------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|---|-----------------|-----------------------|-----|--------------|
| 1 | 44.9 | 300 | 273 | 286.5 | 291.39 | 23.53 | 18.72 | 1.22 | 0.993 | 0.012 | 1.00 | 23.53 | 291.39 | 18.72 | 1.28 | 0.991 | 23.31 | 455 | 40.77 |
| 2 | 40.4 | 273 | 247 | 260 | 291.39 | 23.53 | 18.72 | 1.34 | 0.989 | 0.015 | 1.00 | 23.53 | 291.39 | 18.72 | 1.41 | 0.986 | 23.20 | 455 | 40.57 |
| 3 | 35.9 | 247 | 222 | 234.5 | 291.39 | 23.53 | 18.72 | 1.49 | 0.982 | 0.019 | 1.00 | 23.53 | 291.39 | 18.72 | 1.57 | 0.978 | 23.01 | 455 | 40.24 |
| 4 | 31.4 | 222 | 197 | 209.5 | 291.39 | 23.53 | 18.72 | 1.67 | 0.973 | 0.023 | 1.00 | 23.53 | 291.39 | 18.72 | 1.77 | 0.967 | 22.75 | 455 | 39.79 |
| 5 | 26.9 | 197 | 172 | 184.5 | 291.39 | 23.53 | 18.72 | 1.89 | 0.961 | 0.029 | 1.00 | 23.53 | 291.39 | 18.72 | 2.03 | 0.959 | 22.44 | 455 | 39.24 |
| 6 | 22.4 | 172 | 146 | 159 | 291.39 | 23.53 | 18.72 | 2.20 | 0.946 | 0.039 | 1.00 | 23.53 | 291.39 | 18.72 | 2.40 | 0.938 | 22.07 | 455 | 38.60 |
| 7 | 17.9 | 146 | 121 | 133.5 | 291.39 | 23.53 | 18.72 | 2.62 | 0.930 | 0.055 | 1.00 | 23.53 | 291.39 | 18.72 | 2.89 | 0.924 | 21.74 | 455 | 38.02 |
| 8 | 13.4 | 121 | 96 | 108.5 | 291.39 | 23.53 | 18.72 | 3.22 | 0.918 | 0.082 | 1.00 | 23.53 | 291.39 | 18.72 | 3.65 | 0.914 | 21.50 | 455 | 37.60 |
| 9 | 8.9 | 96 | 71 | 83.5 | 291.39 | 23.53 | 18.72 | 4.19 | 0.913 | 0.138 | 0.986 | 23.20 | 283.2 | 18.59 | 4.86 | 0.916 | 21.25 | 459 | 37.19 |
| 10 | 4.4 | 71 | 45 | 58 | 291.77 | 23.38 | 18.66 | 6.0 | 0.928 | 0.29 | 0.965 | 22.56 | 267.66 | 18.33 | 7.46 | 0.947 | 21.36 | 465 | 37.42 |
| 11 | 0 | 45 | 20 | 32.5 | 272.3 | 22.74 | 18.40 | 10.41 | 0.99 | 0.95 | 0.86 | 19.55 | 201.15 | 17.06 | 14.53 | 1.044 | 20.41 | 500 | 35.97 |

TABLA 4.2.3

| HURACAN | | | |
|---------|--------|----------------------|----------|
| | Hs (m) | H _{máx} (m) | Ts (seg) |
| Agatha | 19.00 | 34.30 | 17.37 |
| Andres | 20.41 | 35.97 | 17.06 |
| Ignacio | 8.22 | 15.61 | 11.47 |

U.N.A.M. desde 1954. Esta institución publica actualmente las "Tablas de Predicción de Mareas" y el "Calendario Gráfico de Mareas". De estas publicacionesse obtuvieron los principales parámetros que caracterizan a la marea de esta región, estos son:

| | |
|---------------------------------|-----------|
| Pleamar máxima registrada | 0.848 m. |
| Nivel de Pleamar Media Superior | 0.333 m. |
| Nivel de Pleamar Media | 0.272 m. |
| Nivel Medio del Mar | 0.000 m. |
| Nivel de Media Marea | 0.005 m. |
| Nivel de Bajamar Media | -0.264 m. |
| Nivel de Bajamar Media Inferior | -0.398 m. |
| Bajamar Mínima Registrada | -0.889 m. |
| Altura Mínima Registrada | -0.919 m. |

Segun Shureman, para determinar el tipo de marea se tiene que:

$$L = (K1 + O1) / (M2 + S2)$$

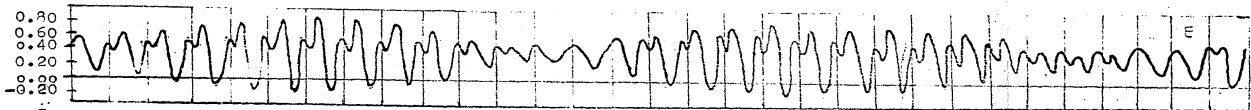
en donde si: $L < 0.1$ marea semidiurna
 $L < 1$ marea semidiurna mixta
 $L < 2$ marea diurna mixta
 $L < 15$ marea diurna

Para Manzanillo se tienen las siguientes constantes armónicas: $M2=0.145$, $S2= 0.168$ m, $N2= 0.052$ m, $K2= 0.049$ m, $K1= 0.163$ m, $O1= 0.119$ m. $P1= 0.052$ m.

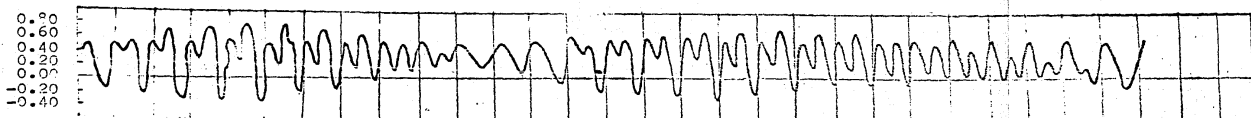
sustituyendo:

$$L = (0.163+0.119) / (0.145+0.168) = 0.909$$

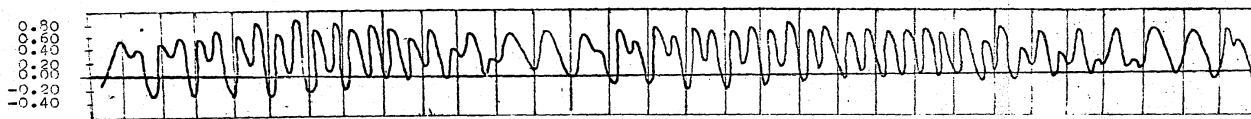
por lo que el tipo de marea de Manzanillo y en la zona del Malecón es semidiurna mixta. Con los registros de un ciclo anual se hizo un procesamiento para obtener los mareogramas mensuales y la marea significativa de la zona, estos se presentan en las figuras 4.3.1 "Diagramas de Mareas". Del análisis de estos mareogramas se obtiene que el periodo significativo es de 24 hrs. 37.2 min. y que la amplitud máxima registrada es de 1.767 m.



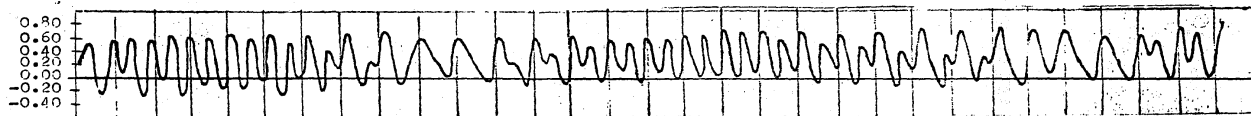
ENERO



FEBRERO



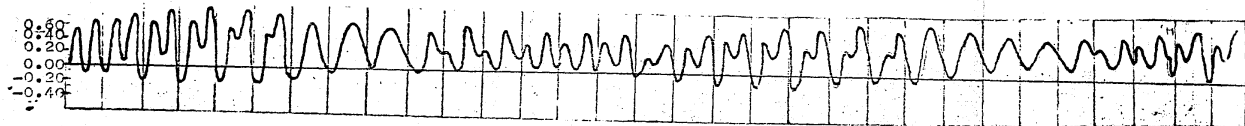
MARZO



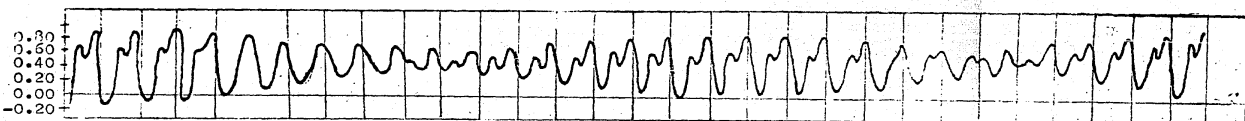
ABRIL

ELEVACIONES REFERIDAS AL M.S.N.M.
PREDICCION DE MAREAS 1985

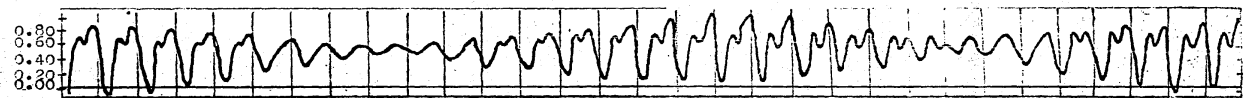
DIAGRAMAS DE MAREAS
FIGURA 4.3.1



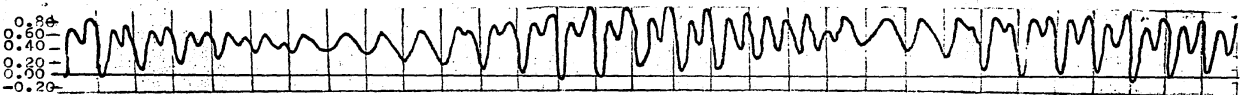
M A Y O



J U N I O



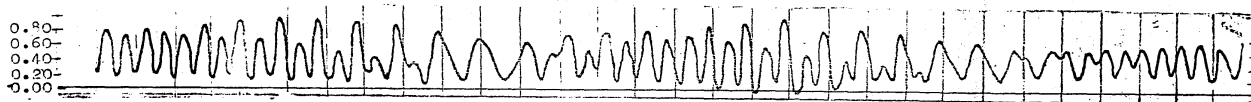
J U L I O



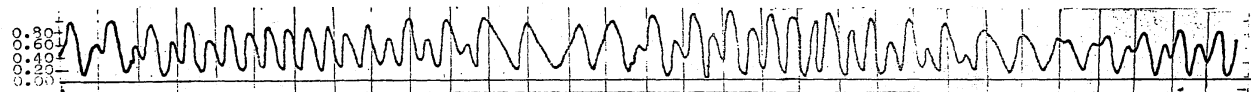
A G O S T O

ELEVACIONES REFERIDAS AL N.B.M.I.
 PREDICCIÓN DE MAREAS 1935

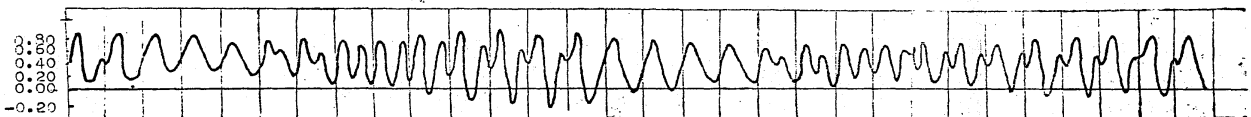
DIAGRAMAS DE MAREAS
 FIGURA 4.3.1



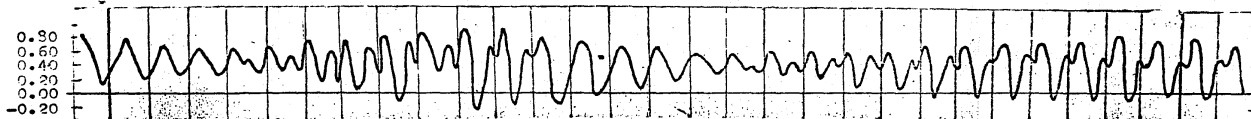
SEPTIEMBRE



OCTUBRE



NOVIEMBRE



DICIEMBRE

ELEVACIONES REFERIDAS AL N.B.M.I.
PREDICCIÓN DE MAREAS 1985

DIAGRAMAS DE MAREAS
FIGURA 4.3.1

4.4. Vientos.

Los vientos son un elemento importante en los estudios oceanográficos por sus efectos en la formación del oleaje y en las fuerzas que ejercen sobre las estructuras. Para conocer los principales parámetros de este fenómeno se recurrió a la información emitida por:

- a) "Atlas de Agua de la República Mexicana", publicado por la S.A.R.H., 1976
- b) "Estudio de Vientos en Diferentes Puertos de la República Mexicana", memoria No. 20, Departamento de Estudios y Laboratorio, 1964.

Estas publicaciones tienen registros de las características del viento obtenidas de estaciones climatológicas cercanas al sitio del Malecón, en la laguna de Cuyutlán.

Con base en un resumen mensual y anual de la frecuencia y velocidad del viento, a partir de los datos que aparecen en las tablas del "Atlas de Agua de la República Mexicana", se elaboraron los diagramas de Lenz correspondientes y que se muestran en la figura 4.4.1 "Diagramas de Lenz" y cuadros 4.4.1, 4.4.2, y 4.4.3. De los anteriores se elaboraron 3 formas que son:

- a) Gráfica de "n". Esta gráfica representa la frecuencia en porcentaje en que ha soplado el viento en cada dirección. Esta gráfica de la dirección del viento reinante en la zona de estudio, estando representada por el valor máximo graficado en la rosa de los vientos.
- b) Gráfica de "nv". Esta gráfica se construyó para considerar conjuntamente la frecuencia y la intensidad del viento por el producto "nv" y muestra en forma objetiva la dirección en que se presentan las velocidades y ocurrencias máximas.
- c) Gráfica de "v". Esta gráfica se construyó para representar el valor de las velocidades medias que ocurren en cada

dirección y nos proporcionan asimismo el viento dominante.

Podemos concluir que para la zona de estudio, tanto los vientos reinantes como los dominantes provienen del Noroeste y Oeste. La velocidad promedio anual del viento es de 4.12 m/s. La velocidad promedio anual del viento dominante es de 6.6 m/s. La velocidad máxima promedio mensual es de 9.1 m/s.

CUADRO 4.4.1
 DIAGRAMAS DE LLENZ
 (Fuente: ATLAS DEL AGUA, S.A.R.H. 1976)

| CARACTERISTICAS DE LOS VIENTOS MENSUALES EN EL PERIODO 1951 - 1970 | | | | | | | | | | |
|--|------------------------|------|-------|------|------|------|------|-------|-------|--------|
| MES | DIRECCION PARAMETRO | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW | CALMAS |
| ENERO | N | 0.6 | 1.0 | 1.40 | 7.0 | 4.7 | 2.1 | 46.5 | 34.1 | 3.00 |
| | V | 5.0 | 5.8 | 2.2 | 2.8 | 2.1 | 2.4 | 5.7 | 4.7 | |
| | NV | 3.0 | 5.8 | 3.08 | 1.96 | .87 | 5.04 | 265.0 | 160.3 | |
| | V2medio | 25.0 | 33.64 | 4.84 | 7.84 | 4.41 | 5.76 | 32.5 | 22.1 | |
| FEBRERO | N | | | 0.60 | 6.4 | 4.9 | 0.9 | 48.3 | 36.8 | 2.00 |
| | V | | | 4.0 | 3.6 | 7.0 | 2.7 | 6.0 | 5.3 | |
| | NV | | | 2.4 | 23.0 | 34.3 | 2.4 | 289.8 | 195.0 | |
| | V2medio | | | 16.0 | 12.9 | 49.0 | 7.3 | 36.0 | 28.1 | |
| MARZO | N | | | 0.8 | 7.0 | 5.6 | 1.1 | 43.8 | 40.9 | 0.9 |
| | V | | | 1.7 | 3.3 | 3.9 | 2.7 | 6.2 | 8.1 | |
| | NV | | | 1.4 | 23.1 | 21.8 | 3.0 | 271.6 | 331.3 | |
| | V | | | 2.9 | 10.9 | 15.2 | 7.3 | 38.4 | 65.6 | |
| ABRIL | N | | | 0.6 | 6.2 | 4.5 | 0.9 | 46.8 | 41.5 | |
| | V | | | 2.0 | 3.1 | 4.5 | 3.1 | 6.0 | 6.9 | |
| | NV | | | 1.2 | 19.3 | 20.3 | 2.8 | 280.8 | 286.3 | |
| | V | | | 4.0 | 9.6 | 20.3 | 9.6 | 36.0 | 47.6 | |
| MAYO | N | | | 0.3 | 2.5 | 2.6 | 1.0 | 50.1 | 43.4 | 0.3 |
| | V | | | 3.5 | 3.4 | 1.9 | 2.6 | 6.5 | 7.5 | |
| | NV | | | 1.0 | 8.5 | 4.9 | 2.6 | 325.6 | 325.5 | |
| | V | | | 12.3 | 11.6 | 3.6 | 6.8 | 42.3 | 56.3 | |
| JUNIO | N | | | 1.3 | 5.1 | 8.5 | 4.1 | 39.8 | 40.7 | 0.7 |
| | V | | | 3.6 | 5.7 | 5.0 | 3.1 | 4.6 | 8.2 | |
| | NV | | | 4.7 | 29.1 | 42.5 | 12.7 | 183.1 | 333.7 | |
| | V | | | 13.0 | 32.5 | 25.0 | 9.6 | 21.1 | 67.2 | |
| JULIO | N | 0.3 | | 1.9 | 12.1 | 14.2 | 3.9 | 33.3 | 31.7 | 2.8 |
| | V | 0.1 | | 3.3 | 7.0 | 6.3 | 2.1 | 3.9 | 6.3 | |
| | NV | 0.03 | | 6.3 | 85.0 | 89.5 | 8.2 | 129.9 | 199.7 | |
| | V | 0.04 | | 10.9 | 49.0 | 39.7 | 4.4 | 15.2 | 39.7 | |
| AGOSTO | N | | 0.9 | 1.4 | 12.9 | 13.7 | 3.7 | 31.8 | 34.1 | 1.4 |
| | V | | 1.5 | 4.9 | 5.9 | 4.2 | 2.4 | 5.3 | 6.7 | |
| | NV | | 1.35 | 6.9 | 76.1 | 57.5 | 8.9 | 168.5 | 228.5 | |
| | V | | 2.25 | 24.0 | 34.8 | 17.6 | 5.8 | 28.1 | 44.9 | |

cuadro 4.4.2

pag 45

| CARACTERISTICAS DE LOS VIENTOS MENSUALES EN EL PERIODO 1951 - 1970 | | | | | | | | | | |
|--|------------------------|------|------|------|-------|-------|------|-------|-------|--------|
| MES | DIRECCION PARAMETRO | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW | CALMAS |
| SEPTIEMBRE | N | 0.4 | 0.4 | 2.4 | 13.3 | 15.1 | 3.8 | 34.1 | 27.5 | 3.4 |
| | V | 0.1 | 0.5 | 5.0 | 5.6 | 6.1 | 1.8 | 5.4 | 6.5 | |
| | NV | 0.04 | 0.2 | 12.0 | 74.5 | 92.1 | 6.2 | 184.1 | 178.8 | 3.4 |
| | V ² | 0.0 | 0.0 | 25.0 | 31.36 | 37.2 | 3.2 | 29.2 | 42.3 | |
| OCTUBRE | N | 0.6 | 0.6 | 1.1 | 9.6 | 8.5 | 4.1 | 38.5 | 33.5 | 3.4 |
| | V | 1.3 | 4.1 | 3.7 | 6.8 | 4.2 | 2.7 | 4.9 | 6.7 | |
| | NV | 0.78 | 2.46 | 4.1 | 55.3 | 35.7 | 11.1 | 188.7 | 224.4 | 3.4 |
| | V ² | 1.7 | 16.8 | 13.9 | 46.2 | 17.6 | 7.29 | 24.01 | 44.9 | 11.6 |
| NOVIEMBRE | N | 0.3 | 0.4 | 0.7 | 3.8 | 7.2 | 4.7 | 42.4 | 39.6 | 2.2 |
| | V | 2.5 | 0.1 | 5.2 | 3.8 | 3.7 | 1.4 | 4.9 | 9.1 | |
| | NV | 0.75 | 0.04 | 3.64 | 14.4 | 26.6 | 6.58 | 207.8 | 351.3 | 2.2 |
| | V ² | 6.3 | 0.0 | 27.0 | 14.4 | 13.7 | 2.0 | 24.0 | 82.8 | 4.8 |
| DICIEMBRE | N | 0.6 | 0.3 | 1.4 | 6.3 | 6.3 | 5.2 | 39.1 | 36.1 | 4.5 |
| | V | 1.1 | 0.1 | 2.6 | 3.3 | 3.2 | 1.7 | 5.4 | 3.1 | |
| | NV | 0.66 | 0.03 | 3.64 | 20.8 | 20.2 | 8.84 | 211.1 | 111.9 | 4.5 |
| | V ² | 1.21 | 0.0 | 6.8 | 10.9 | 10.24 | 2.9 | 29.2 | 9.6 | |

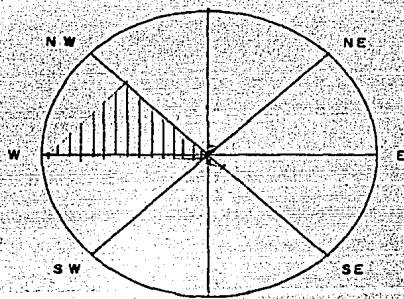
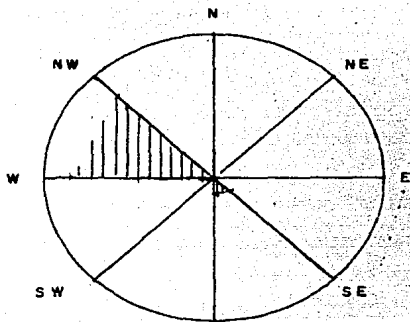
CUADRO 4.4.3

| RESUMEN DEL PROMEDIO ANUAL DE LOS VIENTOS EN EL PERIODO 1951 - 1970 | | | | | | | | | | |
|---|------|------|-------|-------|------|------|--------|--------|--------|--|
| DIRECCION PARAMETRO | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW | CALMAS | |
| N | 0.2 | 0.30 | 1.2 | 7.7 | 8.0 | 3.0 | 41.2 | 36.6 | 2.1 | |
| V | 0.8 | 1.00 | 3.5 | 4.5 | 4.3 | 2.4 | 5.4 | 6.6 | | |
| NV | 0.16 | 0.30 | 4.2 | 34.65 | 34.4 | 7.2 | 222.48 | 241.56 | | |
| V ² medio | 0.64 | 1.00 | 12.25 | 20.25 | 18.5 | 5.76 | 29.16 | 43.56 | | |

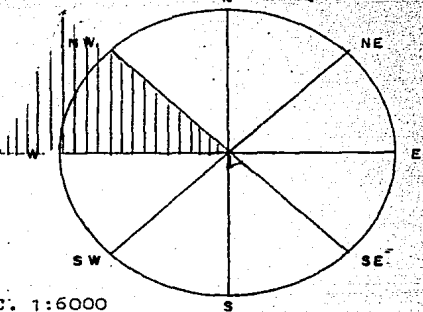
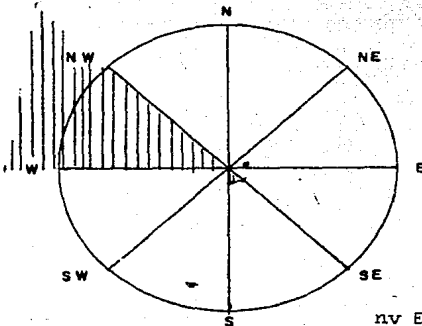
DIAGRAMA DE LENZ

MARZO

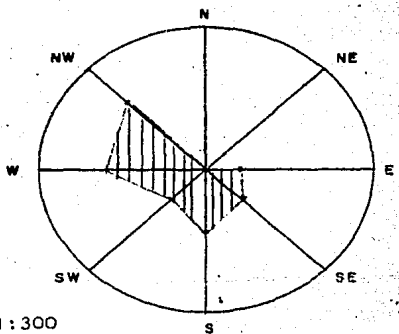
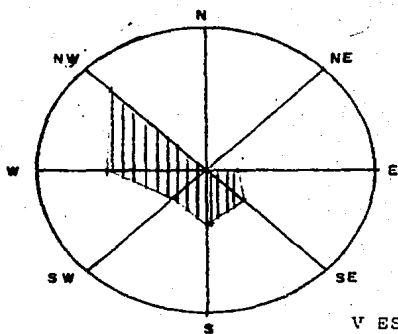
ABRIL



n ESC: 1:1500



nv ESC. 1:6000



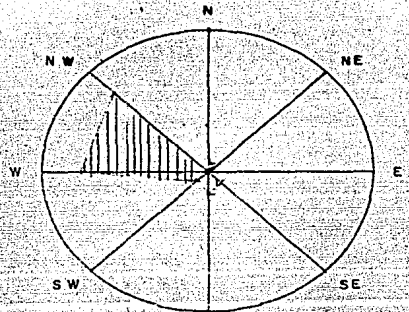
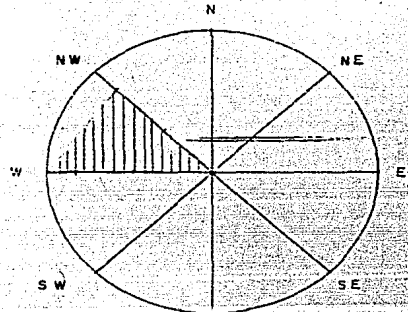
V ESC. 1:300

FIGURA 4.4.1

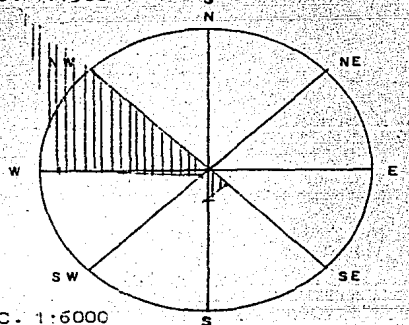
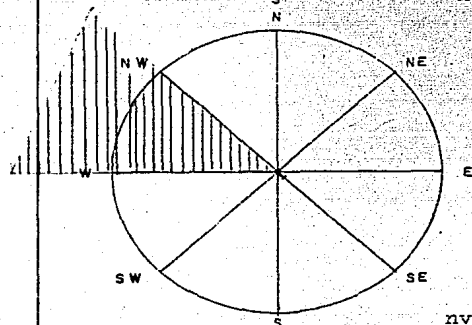
DIAGRAMA DE LENZ

MAYO

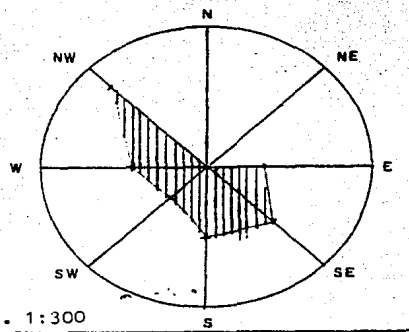
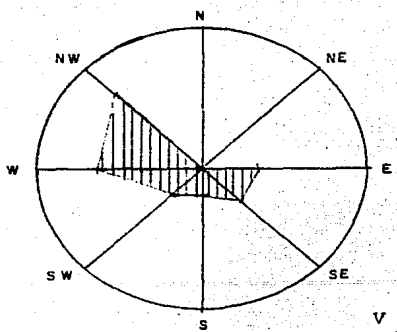
JUNIO



n ESC. 1:1500



nv ESC. 1:6000



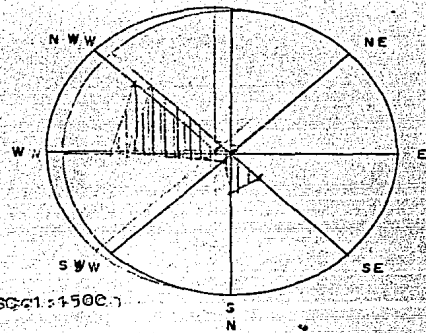
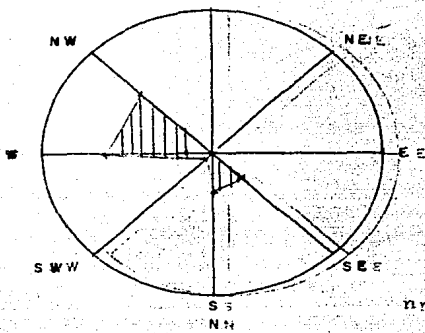
V ESC. 1:300

FIGURA 4.41

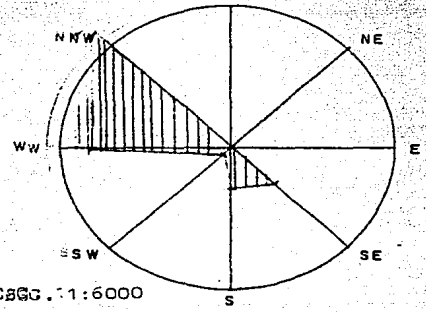
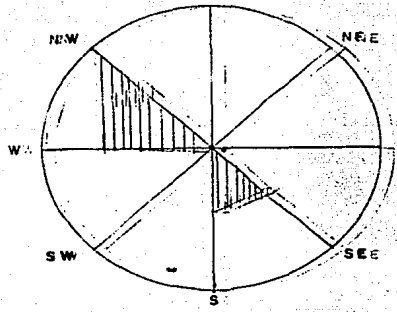
DIAGRAMMA DE LENZ

JULIO

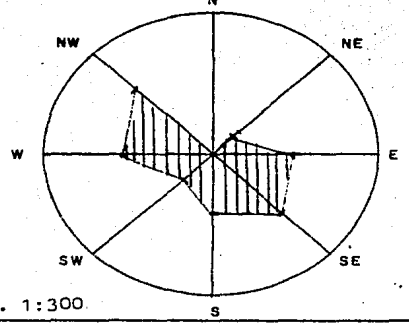
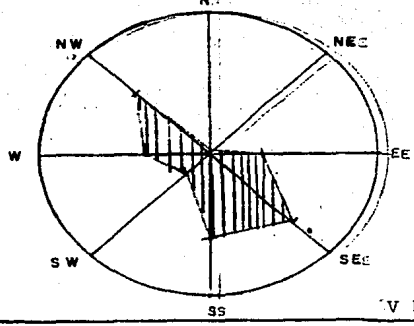
AGOSTO



nv ESC. 1:1500



nv ESC. 1:6000



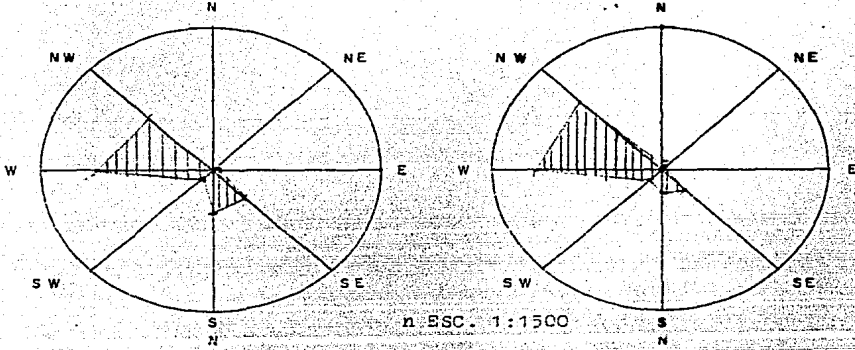
nv ESC. 1:300

FIGURA 4.4.1

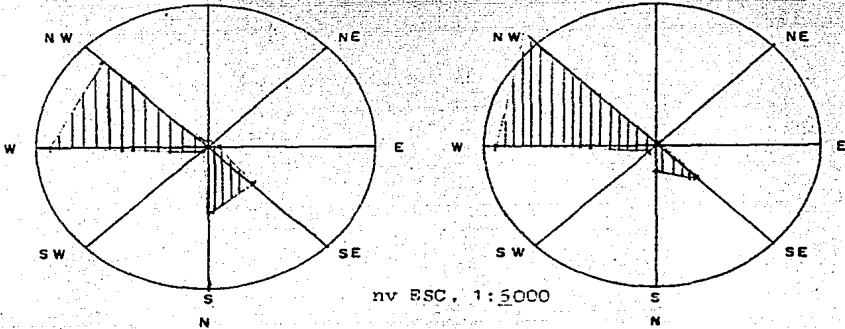
DIAGRAMA DE LENZ

SEPTIEMBRE

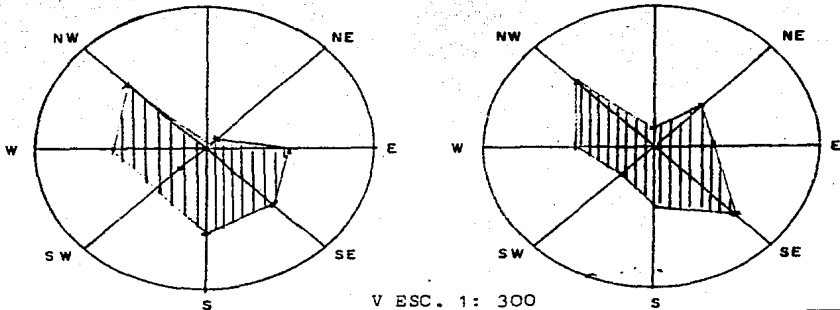
OCTUBRE



II ESC. 1:1500



IV ESC. 1:5000



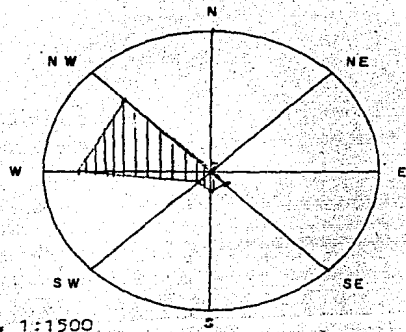
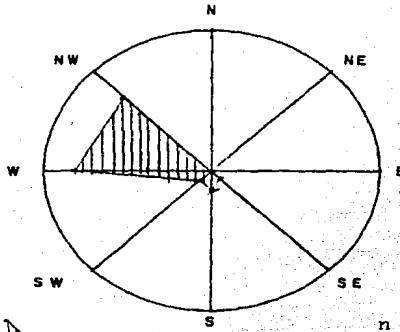
V ESC. 1:300

FIGURA 4.4.1

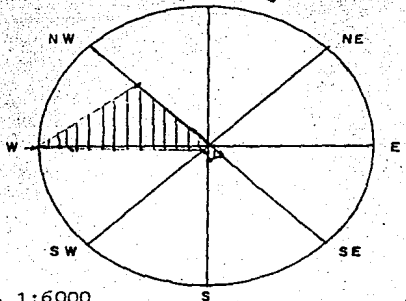
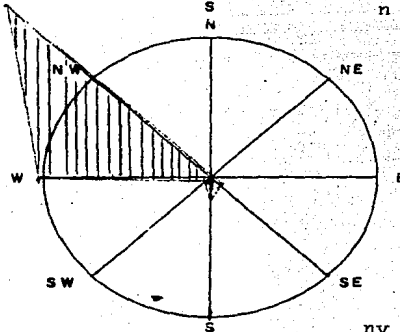
DIAGRAMA DE LENZ

NOVIEMBRE

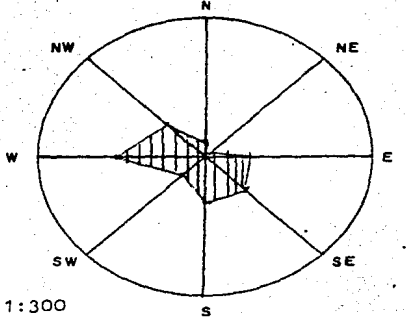
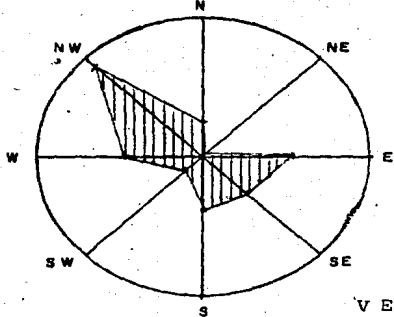
DICIEMBRE



n ESC. 1:1500



nv ESC. 1:6000



V ESC. 1:300

FIGURA 4.4.1

DIAGRAMA DE LENZ ANUAL

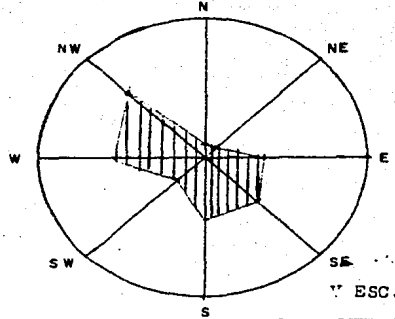
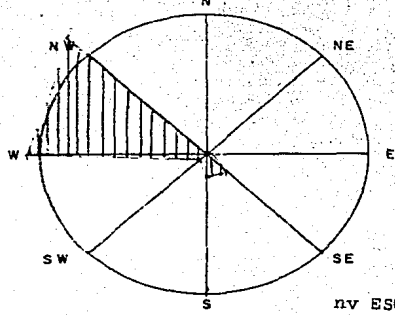
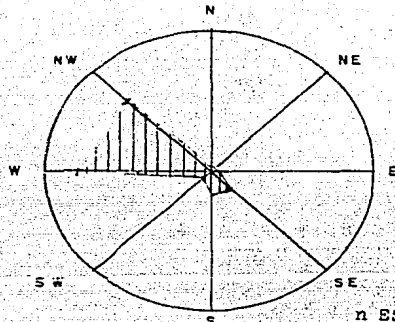


FIGURA 4.4.1

V. REGIMEN LITORAL.

La evaluación del transporte litoral paralelo a la playa, que pasa frente a la zona donde se proyecta la comunicación, es de gran importancia, ya que la magnitud de éste es el factor preponderante en la estabilidad tanto horizontal como vertical del canal. Es necesario conocer la magnitud del movimiento de arena para saber si se necesita proteger el canal por medio de escolleras, o es factible su permanencia sin protección.

El método usado para la determinación del transporte litoral y eólico fue el cálculo teórico. Como en el capítulo IV, se tuvo que recurrir a esto debido a que la obtención de ellos por medio de mediciones directas a través de campañas, es costoso por la duración, establecimiento de campamentos y movimiento de gente y equipos. Los datos empleados para la estimación del transporte litoral son los del oleaje, muestreos sedimentológicos y observaciones que evidencian éste en el lugar. Es decir, se hizo una combinación de mediciones directas con evaluaciones teóricas, que aplicadas a las fórmulas más conocidas para el cálculo del transporte litoral, dieron resultados muy diferentes. Esto es bien conocido, y por lo tanto, fue necesario aplicar un criterio que tomara en cuenta los resultados de todos para poder tomar un valor como el más probable o cercano a la realidad.

Los criterios empleados en el cálculo teórico del volumen del transporte litoral fueron el de Cadwell, el de Larras, el de Cerc, y una fórmula presentada por R. Springall en el IV Congreso Nacional de Hidráulica en 1978, basada en trabajos en la República Mexicana.

Los datos necesarios para los cálculos en los cuatro criterios mencionados son los presentados en los capítulos precedentes. Las alturas de ola, su dirección y frecuencia fueron extraídas de las tablas 4.1.4 y 4.1.6, que pertenecen a la fuente Ocean Waves Statistics, ésta presenta toda la información necesaria y de la cual se extrajo el siguiente cuadro:

| Dirección | Frecuencia |
|-------------|------------|
| 270 (W) | 14.78 |
| 240 (S60 W) | 9.84 |
| 300 (N60 W) | 9.53 |
| 330 (N30 W) | 7.11 |
| 150 (S) | 5.86 |
| 120 (S60 E) | 5.31 |

Los oleajes que pueden afectar el canal, son sólo los de dirección W, SW, S Y SE. Para simplificar el manejo de datos, se analizaron estas direcciones, haciendo las interpolaciones necesarias. Se llevó a cabo un análisis de refracción del oleaje, cuyos datos se muestran en los planos "Diagramas de Refracción", figura 5.1. Para esto fue necesario usar los datos de las tablas 4.1.6, en donde se tienen las direcciones del oleaje, sus alturas y períodos máximos estadísticos que son los más desfavorables. El método usado fue el gráfico de los frentes de ola, para el cual se dividió el área de estudio en dos zonas de control, indicadas como zonas 1 y 2.

* METODO DE CADWELL.

La fórmula propuesta por Cadwell es:

$$Q_s = 2.10 E_i^{0.8}$$

Donde: $E_i = (H_o^2 K_r^2 L_i) / 9 \times 10^6$ (# de olas por día) $(\sin \alpha / \cos \alpha)$.

Q_s = Transporte sólido en yd^3 / día

L_i = Longitud de olas en la zona de rompiente en pies

E_i = Energía incidente del oleaje en millones de lb/ft/día

H_o = Altura de olas en aguas profundas

K_r = Coeficiente de refracción

γ = Peso específico del agua en lb / ft³

α = Ángulo de incidencia entre el frente de olas y la línea de playa

Los parámetros anteriores fueron evaluados para cada intervalo de alturas y dirección de análisis.

* METODO DE LARRAS

La expresión para evaluar el transporte litoral es:

$$Q_s = K_g H_o^2 K_r^2 T \sin 7/4 \alpha$$

Donde: Q_s = Gasto sólido en m³ / s

$$K = 1.8 \times 10^{-6} \phi^{1/2} L_o / H_o$$

ϕ = Diámetro 50 del material

g = Aceleración de la gravedad

T = Periodo del oleaje

Los parámetros restantes tienen el mismo significado que en el método anterior.

* METODO DE CERC

Este método propone:

$$Q_s = 125 E_a$$

Donde: Q_s = Gasto sólido en yd³ / día

$$E_a = (E_o K_r^2 / 2 \times 10^6) (\text{pies día}) (\sin \alpha \cos \alpha)$$

* METODO DE SPRINGALL (IV CONGRESO DE HIDRAULICA).

Se usa la siguiente expresión:

$$Q_s = 12.73 D^3 H^3 (\text{sen } 2\alpha)^{1/4} \text{ (m}^3 \text{ / at)}$$

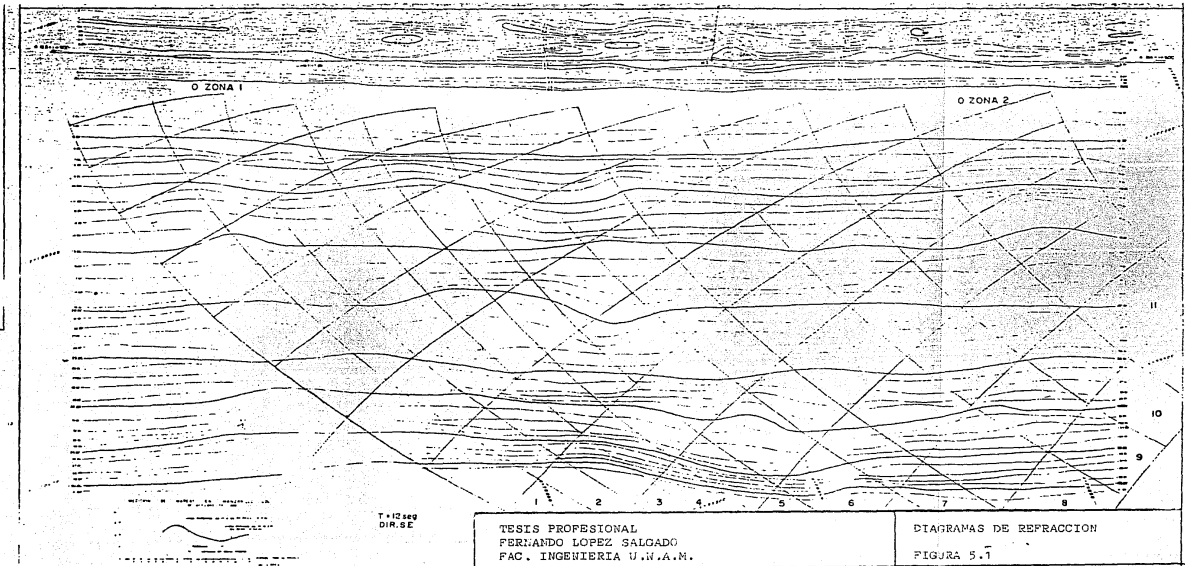
En que: D = Diámetro 50 del material playero
 H = Altura de ola en la rompiente
 α = pendiente de la playa

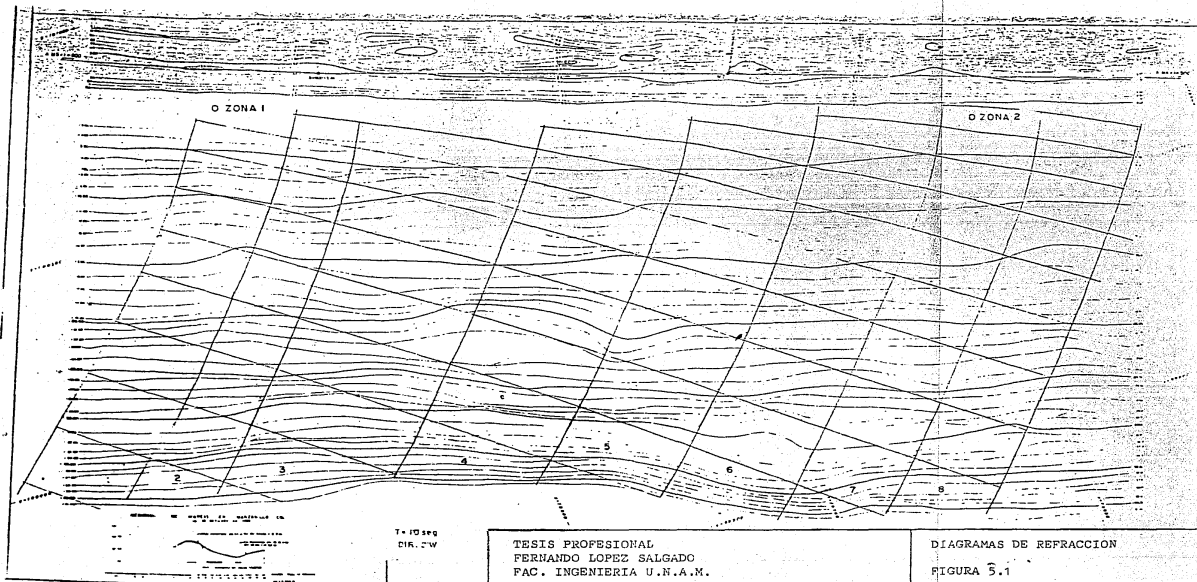
Los demás parámetros tienen el mismo significado que en los métodos anteriores.

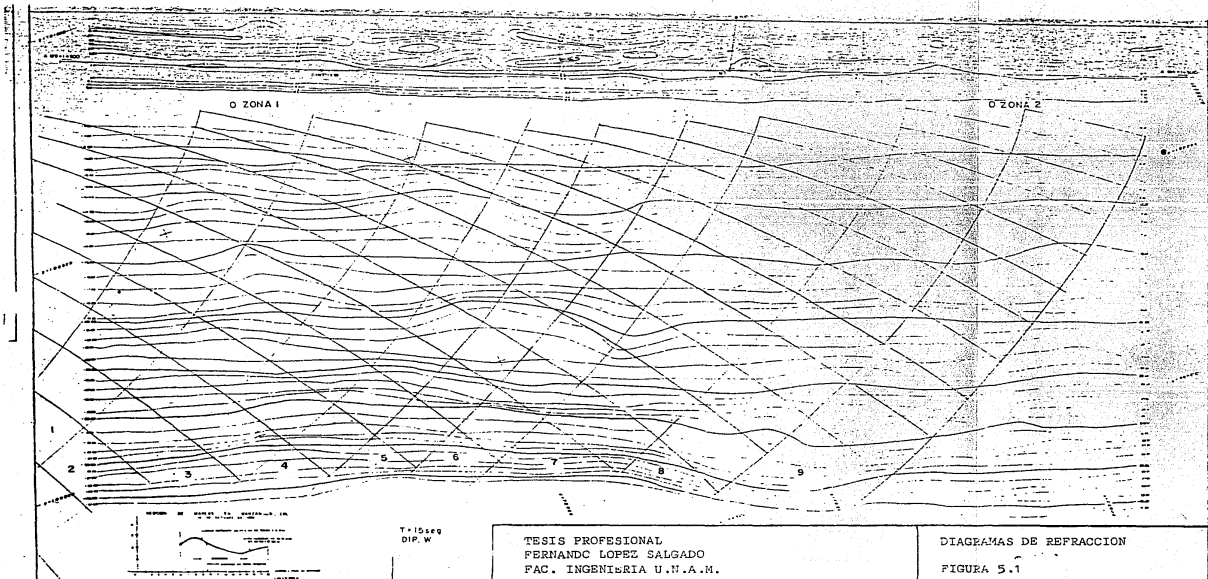
Los resultados de todos los criterios se encuentran resumidos en la tabla 5.1. En ésta se observa que el acarreo neto anual en la zona del NNE a SE, que es la dirección que puede afectar la boca es de:

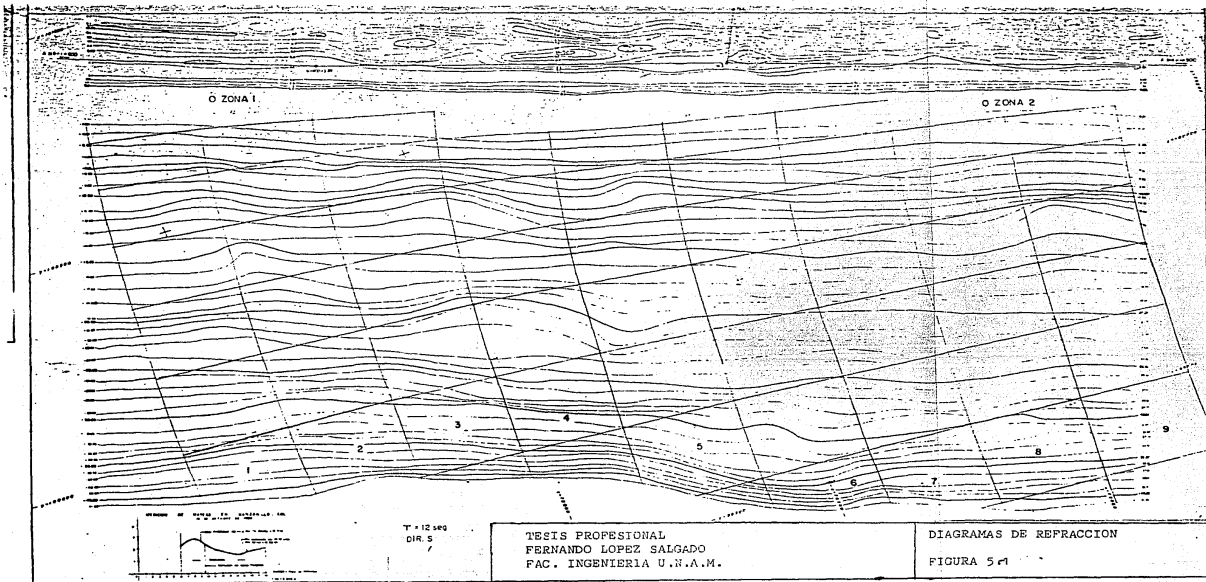
| | | |
|---------|----------------|-----------------|
| 47,983 | m ³ | según Cadwell |
| 95,023 | m ³ | según Larras |
| 361,590 | m ³ | según Cerc |
| 69,923 | m ³ | según Springall |

por lo cual se tomó un número redondo de 100 000 m³ anuales como transporte neto anual. De la misma manera se consideró finalmente un volumen total de transporte litoral de 300 000 m³ anuales del lado conservador y de acuerdo a lo señalado al comienzo del capítulo.



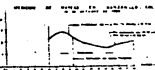






0 ZONA 1

0 ZONA 2



T = 12.500
DIR. S

TESIS PROFESIONAL
FERNANDO LOPEZ SALGADO
FAC. INGENIERIA U.N.A.M.

DIAGRAMAS DE REFRACCION
FIGURA 5a

TABLA 5.1

RESUMEN DEL TRANSPORTE LITORAL ANUAL SEGUN LOS DIFERENTES CRITERIOS ANALIZADOS

| DIRECCION | ZONA | CALDWELL | LARRAS | CERC. | SPRINGALL |
|--------------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| DESTE | 1 | 71 579 | 134 989 | 533 939 | 105 612 |
| | 2 | 88 048 | 112 151 | 477 899 | 90 769 |
| | PROMEDIO | 79 813 | 123 570 | 505 919 | 98 190 |
| SUROESTE | 1 | 48 264 | 10 933 | 118 050 | 32 160 |
| | 2 | 63 959 | 16 321 | 161 838 | 40 063 |
| | PROMEDIO | 56 111 | 13 627 | 139 944 | 36 111 |
| SUR | 1 | - 91 147 | - 37 440 | - 289 361 | - 54 929 |
| | 2 | - 67 486 | - 28 193 | - 201 591 | - 47 202 |
| | PROMEDIO | - 79 316 | - 32 816 | - 245 476 | - 51 065 |
| SURESTE | 1 | - 7 863 | - 8 842 | - 30 027 | - 12 336 |
| | 2 | - 9 471 | - 9 875 | - 47 567 | - 14 298 |
| | PROMEDIO | - 8 667 | - 9 358 | - 38 797 | - 13 317 |
| NETOS | | + 135 924 | + 137 197 | + 645 863 | + 134 301 |
| ANUALES | | - 87 983 | - 42 174 | - 284 273 | - 64 378 |
| ACARREO NETO ANUAL | | + 47 941 | + 95 023 | + 361 590 | + 69 923 |
| TOTAL | | 223 907 | 179 371 | 930 136 | 198 679 |

* PRESENTADA EN EL IV CONGRESO NACIONAL DE HIDRAULICA POR EL DR. ROLANDO SPRINGALL G.

NOTA: EL SIGNO MAS (+) INDICA QUE EL ACARREO LITORAL TIENE UN SENTIDO DE NW A SE Y EL SIGNO MENOS (-) TIENE UN SENTIDO DE SE A NW.

VI. ESTUDIOS ESPECIALES.

Los estudios especiales comprenden a los de calidad del agua en la laguna, los hidrológicos, de muestreo playero y a los de transporte eólico. De estos se presentan en este capítulo los resultados más importantes de todos, menos los del hidrológico.

6.1 Estudios de la calidad del agua.

Los estudios de calidad del agua fueron realizados por la Secretaría de Pesca. Es importante la mención de estos estudios, ya que toda obra de ingeniería civil tiene un fin y el de esta obra es desarrollar la pesquería en la región y evitar perder la laguna. Esta se encuentra en peligro de azolverse totalmente por procesos naturales, alteraciones del hombre que incrementan el azolvamiento y a los clásicos problemas de contaminación de aguas debido a vertidos de aguas contaminadas y residuales.

El estudio ecológico tiene como fin determinar los efectos de una apertura al mar como la proyectada en el sistema lagunario. Esto es, analizar el impacto físico, químico y biológico, en el cuerpo de agua y sus alrededores. Para lograr los objetivos de este estudio, primeramente se recurrió a la revisión de información y estudios que se han llevado a cabo en esta laguna por instituciones y dependencias interesadas. Se hizo un recorrido por mar y tierra haciendo un recuento de las principales fuentes de azolvamiento y contaminación. Se llevó a cabo un estudio de la calidad del agua en función de su uso en las zonas pesqueras, a través de una red de muestreo. Se realizaron análisis de campo y laboratorio que comprendieron la determinación de los siguientes parámetros:

- Oxígeno Disuelto
- Salinidad
- Coliformes fecales
- Temperatura ambiente del agua
- PH
- Materia Flotante
- DBOs

DRO

Sólidos (9 formas)

Grasas y aceites

SAAH (Sustancias activas al azul de metileno)

Fosfatos

Nitrógeno amoniacal

Fenoles

Plancton.

Los resultados de los primeros estudios se encuentran en las tablas 6.1.1. Es importante señalar que una vez realizado el proyecto y conociendo el comportamiento hidráulico del canal, deben analizarse los patrones de los flujos de marea, las características del intercambio de agua y mezcla de estas, concentraciones, etc.. Lo anterior representa un estudio muy complejo por lo cual no se presenta en este trabajo.

6.2 Muestreo playero.

Se tomaron ocho muestras de arena, éstas en dos secciones: la primera sección sobre el eje del canal de comunicación y la segunda, siete Km. al N-W de la primera. Se tomaron muestras sobre la duna, estrand superior, estrand inferior y rompiente. Se realizaron pruebas de granulometría y densidad de sólidos.

La densidad de sólidos resultó de 2.7, ello debido a la presencia de mineral de hierro. Se realizaron las curvas granulométricas de estas muestras, de donde se puede resumir que los diámetros medios del material en cada sección son de:

| sección norte | | sección sur | |
|---------------|-----------|--------------|-----------|
| dunas | = 0.42 mm | dunas | = 0.40 mm |
| estrand sup. | = 0.60 mm | estrand sup. | = 0.49 mm |
| estrand inf. | = 0.42 mm | estrand inf. | = 0.42 mm |
| rompiente | = 0.57 mm | rompiente | = 0.49 mm |

TABLA 5.1.1

(CONTINUA EN)

ESTACION

LAGUNA DE CHIVICHAN

| PARAMETRO | UNIDAD | FECHA DE MUESTREO | | | | | | RANGO | PROMEDIO |
|---------------------------------------|---------------|-------------------|----------|----------|----------|----------|-----------|------------|----------|
| | | 10/11/80 | 17/11/80 | 11/12/80 | 18/12/80 | 01/01/81 | 07/01/81 | | |
| TIPO AMBIENTE | °C | | | | | | | | |
| COLOR | UPPCO | 15 | 15 | 15 | 15 | 10 | 5-25 | 6.6 | |
| TEMPERATURA | °C | 31 | 29 | 30 | 29 | 26 | 15.5-33 | 28.2 | |
| pH | pH | 6.25 | 6.2 | 6.62 | 6.2 | 6.2 | 5.1-6.25 | 6.4 | |
| GRASAS Y ACEITES | mg/l | 103 | 1.2 | 7 | 9.6 | 89 | 0.1-103 | 28.7 | |
| SOLIDOS SED. | mg/l | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.1-0.3 | 0.1 | |
| MATERIA FIJANTE | g/l | | | | | | | | |
| OD | mg/l | 2.2 | 1.9 | 1.4 | 1.6 | 4.0 | 1.3-4 | 2.2 | |
| DBO ₅ | mg/l | 4.4 | 2.5 | 5.2 | 3.5 | 2.2 | 0.61-5.9 | 3.7 | |
| DOB | mg/l | | | | | | 56-661 | 155.5 | |
| N-NH ₃ | mg/l | 0.11 | 0.1 | 0.05 | 0.1 | 0.02 | 0.02-0.3 | 0.1 | |
| N-ORG. | mg/l | | | | | | | 0.079 | |
| N-NO ₃ | mg/l | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1-0.17 | 0.1 | |
| PO ₄ ³⁻ - TOTAL | mg/l | 0.1 | 0.059 | 0.2 | 0.35 | 0.23 | 0.02-0.7 | 0.2 | |
| PO ₄ ³⁻ - ORTO | mg/l | 0.054 | 0.053 | 0.055 | 0.33 | 0.19 | 0.02-0.3 | 0.1 | |
| SO ₄ ²⁻ - TOTAL | mg/l | 2177 | 267 | 2035 | 2742 | 3460 | 207-3460 | 2201.8 | |
| S.A.A.M | mg/l | 0.17 | 0.037 | 0.098 | 0.13 | 0.38 | 0.037-2.4 | 0.4 | |
| DUREZA - Ca CO ₃ | mg/l | 6806 | 7969 | 7309 | 6493 | 7290 | 5626-7569 | 6624.2 | |
| TURBIDIDAD | U.T.J | 1.25 | 1.25 | 35 | 1.25 | 1.25 | 1.25-45 | 27.9 | |
| CLORUROS | mg/l | 36286 | 20367 | 23410 | 24936 | 25 | 25-36286 | 20696 | |
| ALCALINIDAD | FENOL. | mg/l | 5.4 | 17 | 20 | 8.8 | 11 | 0-43 | 10.9 |
| | TOTAL | mg/l | 114 | 110 | 107 | 124 | 131 | 75-167 | 117 |
| SOLIDOS | ST | mg/l | 6518 | 36480 | 37884 | 36306 | 37984 | 6518-39266 | 34514 |
| | STF | mg/l | 4038 | 33050 | 34982 | 33496 | 38322 | 3920-36908 | 31816 |
| | STV | mg/l | 2480 | 3430 | 3002 | 2810 | 3662 | 211-3430 | 2692 |
| | SST | mg/l | 70 | 23 | 90 | 27 | 88 | 7-119 | 71 |
| | SSF | mg/l | 38 | 20 | 54 | 20 | 62 | 4-94 | 47.9 |
| | SSV | mg/l | 32 | 1 | 26 | 7 | 26 | 1-43 | 23 |
| | SDT | mg/l | 6448 | 36457 | 37792 | 35279 | 37896 | 6448-39171 | 36898 |
| | SDF | mg/l | 4000 | 32030 | 34818 | 33476 | 34260 | 4000-36637 | 31730 |
| | SDV | mg/l | 2448 | 3427 | 2976 | 2837 | 3636 | 611-3536 | 2586 |
| | CONDUCTIVIDAD | µmhos/cm | | | | | | | |
| COLIFORMES | TOTALES | NMP | 11000 | 23 | 2400 | 2400 | 240 | 3-24000 | 6677 |
| | FECALES | CO ml | 4600 | 1.3 | 150 | 2100 | 43 | 2-4600 | 1546 |
| CROMO | mg/l | | | | | | | | |
| PLOMO | mg/l | | | | | | | | |
| MERCURIO | mg/l | | | | | | | | |
| CIANURO | mg/l | | | | | | | | |
| FENOL | mg/l | | | | | | | | |
| CADMIO | mg/l | | | | | | | | |
| FIERRO | mg/l | | | | | | | | |

De los resultados se infiere que la arena es uniforme y relativamente pesada. Los diámetros cincuenta tienden a disminuir hacia el S-E, lo que podría ser indicativo de un transporte litoral y eólico predominante hacia el S-E. Ello parece más indicativo, en relación al transporte litoral.

6.3 Transporte eólico.

Inicialmente se trató de utilizar la fórmula de Bagnold, según el cual, en unidades inglesas, el gasto eólico en ft^3 es:

$$q = c t (d50/d1)^{0.5} (Ra/g) (u - 29.34)^3 16.13 \log z/z'$$

en que:

c = 1.5 para arenas uniformes.

l = ancho expuesto de dunas = 300 ft

t = tiempo de acción del viento en seg.

$d50$ = diámetro cincuenta de la arena = 0.41mm

$d1$ = diámetro cincuenta de la arena de Bagnold = 0.25mm

Ra = peso específico del aire.

g = aceleración de la gravedad.

u = velocidad del viento en ft/seg.

z = altura a la que se midió el viento = 20 mts.

z^4 = 0.0329 ft.

Como se ve la fórmula sólo da valores para velocidades superiores a 29.34 ft/seg, es decir 8.7 m/seg, que se presentan en la zona con poca frecuencia, prácticamente sólo al paso de ciclones.

Normalmente, de acuerdo a los diagramas de Lenz y las características de los vientos mensuales, (ver capítulo IV), las velocidades de las diferentes direcciones fluctúan entre 2 y 7 m/seg. La presencia de dunas es indicativo de que existe transporte eólico de poca magnitud, ya que es factible el crecimiento de vegetación.

En virtud de lo anterior, se utilizaron las mediciones y correlaciones realizadas en el Mezquital Tamps., en un estudio en el que se correlacionaron las mediciones en campo, a través de trampas, con el transporte eólico. De la fórmula de Bagnold se observa que $(d50/d1)$ es un factor de corrección por diámetro cincuenta de la arena. En éstas se obtuvieron rectas de correlación entre u y q .

Para valores menores a 200 de u , la arena se mueve en saltación y la ecuación para Mezquital es:

$$q = 5.1 \times 10^{-6} u^3 \text{ m}^3/\text{hora / metro.}$$

aplicando el factor de corrección por diámetro

$$d50 \text{ Mezquital} = 0.19 \text{ mm.}$$

$$d50 \text{ Cuyutlán} = 0.41 \text{ mm.}$$

$$(0.19/0.41) = 0.68$$

la ecuación para Cuyutlán queda:

$$q = 3.47 \times 10^{-6} u^3 \quad (1)$$

para valores mayores a 200 de u , la arena se mueve en suspensión y la ecuación para Mezquital es:

$$q = 2 \times 10^{-4} u^3 - 0.039$$

y para Cuyutlán

$$q = 1.36 \times 10^{-4} u^3 - 0.039 \quad (2)$$

La ecuación (1) se aplica para velocidades inferiores a 6.64 m/seg. Y la ecuación (2) para velocidades superiores a la señalada. La aplicación de este criterio aparece en la tabla 6.3 y para las direcciones de viento que puedan causar transporte hacia el canal. Como era de esperarse, el transporte eólico que puede afectar el canal es despreciable aun sin

corrección por lluvia. Ello es debido a que la zona no vegetada tiene un ancho de sólo 100 mts. en la actualidad y su tendencia es a disminuir, ya que se están sembrando palmas y ciruelos sobre las dunas. El depósito originado por este transporte, será fácilmente removido por las corrientes de flujo y reflujo.

CALCULO DEL TRANSPORTE EOLICO

pag 65

| MES | DIR. | U M/S | Q M ³ /Hr / M | N | t Hr | Q ₃ M ³ |
|---------|------|----------|-----------------------------|------|---------|----------------------------------|
| ENERO | NE | 5.8 | 6.8x10 ⁻⁴ | 1.0 | 7.2 | 0.5 |
| | E | 2.2 | 3.7x10 ⁻⁵ | 1.4 | 10.1 | 0.0 |
| | SE | 2.8 | 7.6x10 ⁻⁵ | 7.0 | 50.4 | 0.4 |
| | SW | 2.4 | 4.8x10 ⁻⁵ | 2.1 | 15.1 | 0.1 |
| | W | 5.7 | 6.4x10 ⁻⁴ | 46.5 | 334.8 | 21.5 |
| | NW | 4.7 | 3.6x10 ⁻⁴ | 34.1 | 245.5 | 8.8 |
| FEBRERO | E | 4.0 | 2.2x10 ⁻⁴ | 0.6 | 4.3 | 0.1 |
| | SE | 3.6 | 1.6x10 ⁻⁴ | 6.4 | 46.1 | 0.7 |
| | W | 6.0 | 7.5x10 ⁻⁴ | 48.3 | 347.8 | 26.1 |
| | NW | 5.3 | 5.2x10 ⁻⁴ | 36.8 | 265.0 | 13.7 |
| MARZO | SE | 3.3 | 1.2x10 ⁻⁴ | 7.0 | 50.4 | 0.6 |
| | W | 6.2 | 8.3x10 ⁻⁴ | 43.8 | 315.4 | 26.1 |
| | NW | 8.1 | 0.033 | 40.9 | 294.5 | 980.0 |
| ABRIL | SE | 3.1 | 1.0x10 ⁻⁴ | 6.2 | 44.6 | 0.5 |
| | W | 6.0 | 7.5x10 ⁻⁴ | 46.8 | 337.0 | 25.2 |
| | NW | 6.9 | 5.7x10 ⁻³ | 41.5 | 298.8 | 169.0 |
| MAYO | SE | 3.4 | 1.4x10 ⁻⁴ | 2.5 | 18.0 | 0.2 |
| | W | 6.5 | 9.5x10 ⁻⁴ | 50.1 | 360.7 | 34.4 |
| | NW | 7.5 | 0.018 | 43.4 | 312.5 | 574.2 |
| JUNIO | SE | 5.7 | 6.42x10 ⁻⁴ | 5.1 | 36.7 | 2.4 |
| | SW | 3.1 | 1.0x10 ⁻⁴ | 4.1 | 29.5 | 0.3 |
| | W | 4.6 | 3.4x10 ⁻⁴ | 39.8 | 286.6 | 9.7 |
| | NW | 8.2 | 0.036 | 40.7 | 293.0 | 1054.0 |
| JULIO | SE | 7.0 | 7.6x10 ⁻³ | 12.1 | 87.1 | 66.0 |
| | SW | 2.1 | 3.21x10 ⁻⁵ | 3.9 | 28.1 | 0.0 |
| | W | 3.9 | 2.0x10 ⁻⁴ | 33.3 | 239.8 | 4.9 |
| | NW | 6.3 | 8.7x10 ⁻⁴ | 31.7 | 228.2 | 19.8 |

TABLA 6.3

| MES | DIR. | U M/S | M^3/Q /Hr / M | N | t Hr | Q_3 M ³ |
|-----------|------|----------|----------------------|------|---------|-------------------------|
| AGOSTO | E | 4.9 | 4.1×10^{-4} | 1.4 | 10.1 | 0.4 |
| | SE | 5.9 | 7.1×10^{-4} | 12.9 | 92.9 | 6.6 |
| | SW | 2.4 | 4.8×10^{-5} | 3.7 | 26.6 | 0.1 |
| | W | 5.3 | 5.2×10^{-4} | 31.8 | 229.0 | 11.8 |
| | NW | 6.7 | 1.9×10^{-3} | 34.1 | 245.5 | 46.7 |
| SEPT. | E | 5.0 | 4.3×10^{-4} | 2.4 | 17.3 | 0.7 |
| | SE | 5.6 | 6.1×10^{-4} | 13.3 | 95.8 | 5.8 |
| | SW | 1.8 | 2.2×10^{-5} | 3.8 | 27.4 | 0.1 |
| | W | 5.4 | 5.5×10^{-4} | 34.1 | 245.5 | 13.4 |
| | NW | 6.5 | 9.5×10^{-4} | 27.5 | 198.0 | 18.8 |
| OCTUBRE | SE | 6.8 | 3.8×10^{-3} | 9.6 | 69.1 | 26.0 |
| | SW | 2.7 | 6.8×10^{-5} | 4.1 | 29.5 | 0.2 |
| | W | 4.9 | 4.1×10^{-4} | 38.5 | 277.2 | 11.3 |
| | NW | 6.7 | 1.9×10^{-3} | 33.5 | 241.2 | 46.0 |
| NOV. | SE | 3.8 | 1.9×10^{-4} | 3.8 | 27.4 | 0.1 |
| | SW | 1.4 | 9.5×10^{-6} | 4.7 | 33.8 | 0.0 |
| | W | 4.9 | 4.1×10^{-4} | 42.4 | 305.3 | 12.5 |
| | NW | 9.1 | 0.063 | 38.6 | 277.9 | 1764.0 |
| DIC. | SE | 3.3 | 1.2×10^{-4} | 6.3 | 45.4 | 0.6 |
| | SW | 1.7 | 1.7×10^{-5} | 5.2 | 37.4 | 0.1 |
| | W | 5.4 | 5.4×10^{-4} | 39.1 | 281.5 | 15.4 |
| | NW | 3.1 | 1.0×10^{-4} | 36.1 | 259.9 | 2.7 |
| T O T A L | | | | | | 5022 |

TABLA 6.3

VII. ANALISIS DEL FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO.

Para llevar a cabo el diseño de un canal de interconexión laguna - mar, se ha recurrido a la observación y análisis de canales naturales y artificiales existentes. Para este trabajo se acudió a los trabajos presentados por diversos investigadores, siendo los más recurridos Per Brunn, Keulegan y O'Brien.

En el caso de la laguna de Cuyutlán, ha sido necesario proponer diferentes dimensiones del canal en su sección transversal, ya que en el sentido longitudinal, las condicionantes son principalmente topográficas y geológicas.

El área transversal del canal, su longitud, las características de la laguna, del mar y de los materiales del lugar, dan pauta al comportamiento hidráulico del canal.

7.1 Trazo del eje del canal.

El eje del canal se trazó en planos de tal forma que quedará ubicado entre dos cerros, siendo uno de ellos el Tepalcates y el otro sin nombre, ver planos de topografía de la zona. Se procuró que el canal llegará perpendicular a la línea de playa, por lo tanto fue necesario que el eje quedara formado por dos tangentes y una curva como se muestra en la figura 2.]

A continuación se presenta un análisis de las ecuaciones que gobiernan el comportamiento del canal y que son de importancia para el diseño hidráulico y sedimentológico.

7.2. Ecuaciones gobernantes.

Un canal de conexión laguna - mar se considera como abierto y corto con un área transversal A_c , profundidad d , ancho B y longitud L_c . La ecuación dinámica para este canal es:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} = -g \frac{\partial h}{\partial x} - g \frac{n^2 v |v|}{d^{4/3}} \quad (1)$$

donde $v(x,t)$ es la velocidad a lo largo del canal, t es el tiempo, $h(x,t)$ es la elevación de marea con respecto al nivel medio del mar y n es el coeficiente de Manning. Como el canal es corto, la dependencia con respecto a x , de v y h puede ser ignorada y por lo tanto eliminada por integración sobre la longitud l . Dados $h_0(t)$ y $h_b(t)$, que son las elevaciones de la marea en la entrada (mar) y salida (laguna) del canal (figure 7.2.1) respectivamente, la ecuación (1), integrada, nos da:

$$h_0 - h_b = \frac{Lc}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + (K_{en} + K_{ex} + \frac{2gn^2 Lc}{d^{4/3}}) \frac{v|v|}{2g} \quad (2)$$

donde ahora v y h sólo son función de t . K_{en} y K_{ex} son los coeficientes de pérdida de carga asociados con la entrada y salida respectivamente. Se considera que el mar y la laguna son lo suficientemente grandes, como para considerar $v=0$ en todas partes menos en el canal. Las cuatro contribuciones de pérdida de carga son:

| | |
|--------------|--|
| por entrada | $K_{en} v^2 / 2g$ |
| por fricción | $2g n^2 Lc / d^{4/3}$ |
| por salida | $K_{ex} v^2 / 2g$ |
| por inercia | $(Lc/g) \frac{\partial v}{\partial t}$ |

Definiendo un coeficiente de "impedancia":

$$F = K_{en} + K_{ex} + 2g n^2 Lc / d^{4/3} \quad (3)$$

la ecuación 2 puede ser escrita como:

$$\frac{Lc}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + F \frac{v|v|}{2g} + h_b = h_0 \quad (4)$$

la solución de la ecuación 4, adicionalmente requiere de la ecuación de continuidad:

$$Q = \frac{\partial \text{vol}}{\partial t} + Q_f \quad (5)$$

donde el gasto $Q(t) = v(t)A_c(t)$, $\text{vol}(t) = h_b(t)A_b(t)$, $A_b(t)$ es el área de la laguna, y Q_f son las aportaciones de otros orígenes. En términos de la velocidad v , la ecuación 5 puede ser expresada como:

$$v = \frac{1}{A_c} \frac{\partial}{\partial t} (h_b A_b) + \frac{Q_f}{A_c} \quad (6)$$

que sustituido en la ecuación 4 nos da:

$$\frac{\partial^2}{\partial t^2} (h_b A_b) + \frac{\partial Q_f}{\partial t} + \frac{F}{2A_c} \left\{ \frac{\partial}{\partial t} (h_b A_b) + Q_f \right\} \\ \left| \frac{\partial}{\partial t} (h_b A_b) + Q_f \right| + \frac{g A_c}{L_c} h_b = \frac{g A_c}{L_c} h_o \quad (7)$$

las ecuaciones 6 y 7 son las ecuaciones gobernantes requeridas.

7.3. Solución analítica y aplicación.

Para resolver las ecuaciones 6 y 7 analíticamente, se requieren ciertas simplificaciones. La marea del mar se considera sinusoidal:

$$h_o = a_o \cdot \text{sen}(\omega t - \tau) \quad (8)$$

donde a_o es la semiamplitud de la marea en el mar, $\omega = 2 \times \pi / T$, T es el periodo de la marea y τ es la medida angular del

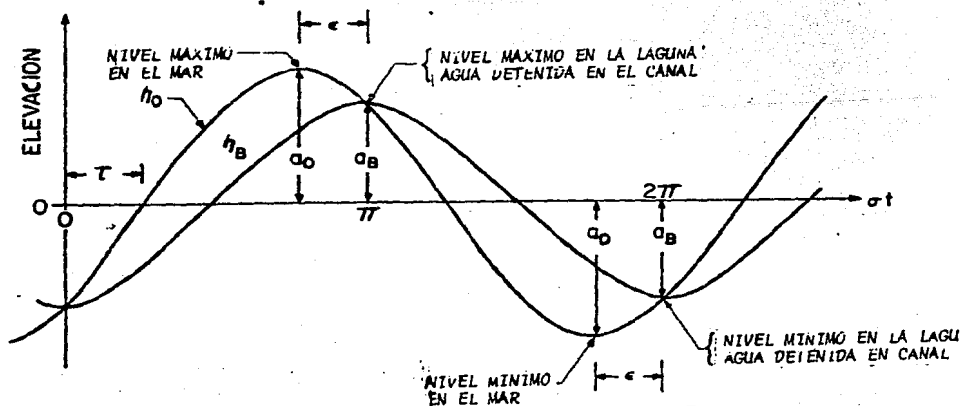
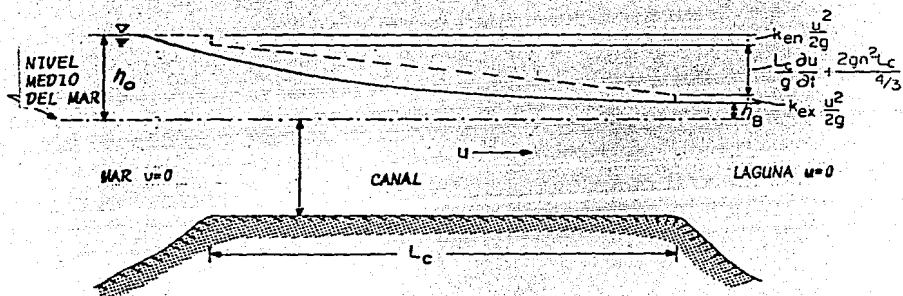


FIGURA 7.2.1 Perdidas de energía en el canal y marea de mar y laguna como funciones del tiempo en radianes.

retraso del instante de velocidad nula en el canal, después de la media marea en el mar. Los parámetros A_b y Q_f se consideran independientes del tiempo. Las ecuaciones 6 y 7 quedan:

$$v = \frac{A_b}{A_c} \frac{\partial h_b}{\partial t} + \frac{Q_f}{A_c} \quad (9)$$

$$\frac{\partial^2 h_b}{\partial t^2} + \frac{F}{2A_c} \left(\frac{\partial h_b}{\partial t} + \frac{Q_f}{A_b} \right) \left| \frac{\partial h_b}{\partial t} + \frac{Q_f}{A_b} \right| + \frac{g A_c}{L_c A_b} h_b = \frac{g A_c}{L_c A_b} h_o \quad (10)$$

Keulegan asume que la carga dada por $h_o - h_b$ es principalmente debida a la disipación por fricción en el canal y por pérdidas en la entrada y la salida. Esto es, el término de inercia en la ec. 10 es ignorado. Además en nuestro caso y del lado conservador suponemos que $Q_f=0$. La ecuación 10 puede ser expresada en forma adimensional como:

$$\frac{d \hat{h}_b}{d \hat{t}} = K \left(|\hat{h}_o - \hat{h}_b| \right)^{1/2} \cdot \text{sen}(\hat{h}_b - \hat{h}_o) \quad (11)$$

donde $\hat{h}_o = h_o/a_o$, $\hat{h}_b = h_b/a_o$, $\hat{t} = \sigma t$ y

$$K = \frac{A_c}{a_o \sigma A_b} \left(\frac{2g a_o}{F} \right)^{1/2} \quad (12)$$

el término K es el coeficiente de llenado. Ahora ignorando Q_f , pero reteniendo todos los otros términos, las ecuaciones las podemos expresar en forma adimensional como:

$$\hat{v} = \frac{1}{\alpha_1} \frac{d \hat{h}_b}{d \hat{t}} \quad (13)$$

$$\frac{d^2 \hat{h}_b}{d \hat{t}^2} + \beta \frac{d \hat{h}_b}{d \hat{t}} \left| \frac{d \hat{h}_b}{d \hat{t}} \right| + \hat{h}_b = \text{sen} \alpha_1 \hat{t} \quad (14)$$

$$\alpha_1 = \sigma \left(\frac{L_c A_b}{g A_c} \right)^{1/2} \quad (15)$$

$$\beta = \frac{\rho_0 F A_b}{2 L_c A_c} \quad (16)$$

$$\hat{t} = t \alpha^{-1} \quad (17)$$

$$\hat{U} = \frac{v A_c}{\rho_0 F A_b} = \hat{U}_m \cos(\alpha \hat{t} - \epsilon) \quad (18)$$

con los mismos parámetros adimensionales Özsöy, resolvió las ecuaciones 13 y 14 y llegó a una solución con términos de primer orden:

$$\epsilon = \tan^{-1} \left[\frac{u \cdot \hat{a}_0}{2(1-\alpha_1^2)} \right] \quad (19)$$

$$\hat{a}_0 = \left\{ \frac{[(1-\alpha_1^2)^4 + u^2]^{1/2} - (1-\alpha_1^2)^2}{1/2 u^2} \right\}^{1/2} \quad (20)$$

$$u = 16 \frac{\beta \alpha_1^2}{3 \pi} \quad (21)$$

$$\hat{U}_m = \hat{a}_0 \quad (22)$$

ϵ = retrasamiento velocidad nula a marea alta en el mar = $\alpha b / \alpha_0$.

Las figuras 7.3.1 y 7.3.2 muestran la solución a estas ecuaciones. Las figuras 7.3.3, 7.3.4 y 7.3.5 señalan la solución a la ecuación (9) (con $Q=0$) y (11), para $\epsilon = (\pi - \pi / 2 - \pi)$, $\hat{a}_0 = (\alpha b / \alpha_0)$ y \hat{U}_m como función de K .

Ya conociendo las ecuaciones que gobiernan el comportamiento hidráulico, se propusieron las dimensiones del canal. Para establecer la geometría de éste, se analizó el material en el cual se excavará. De éste se obtuvo que su velocidad crítica es de 0.54 m / s, según el criterio de Maza-Sanchez (ref 1), y por lo tanto debe esperarse que éste en movimiento durante gran parte del flujo y del refluo. En estos casos de canales en materiales erosionables, Lelavski asume que éste tomará una forma parabólica. El ángulo en la

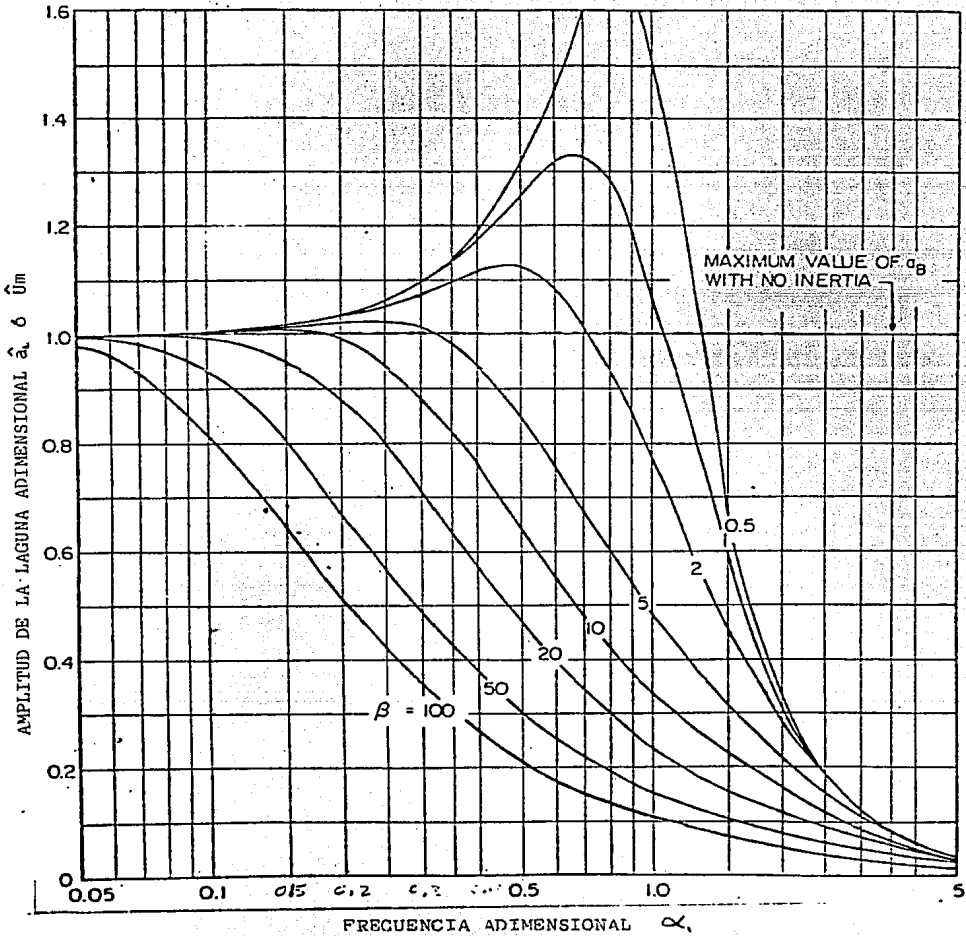


FIGURA 7.3.1

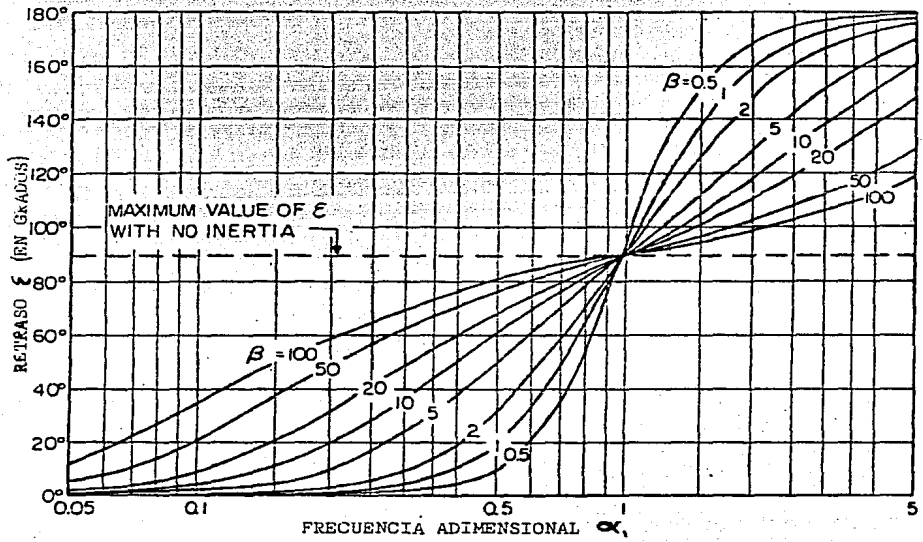


FIGURA 7.3.2

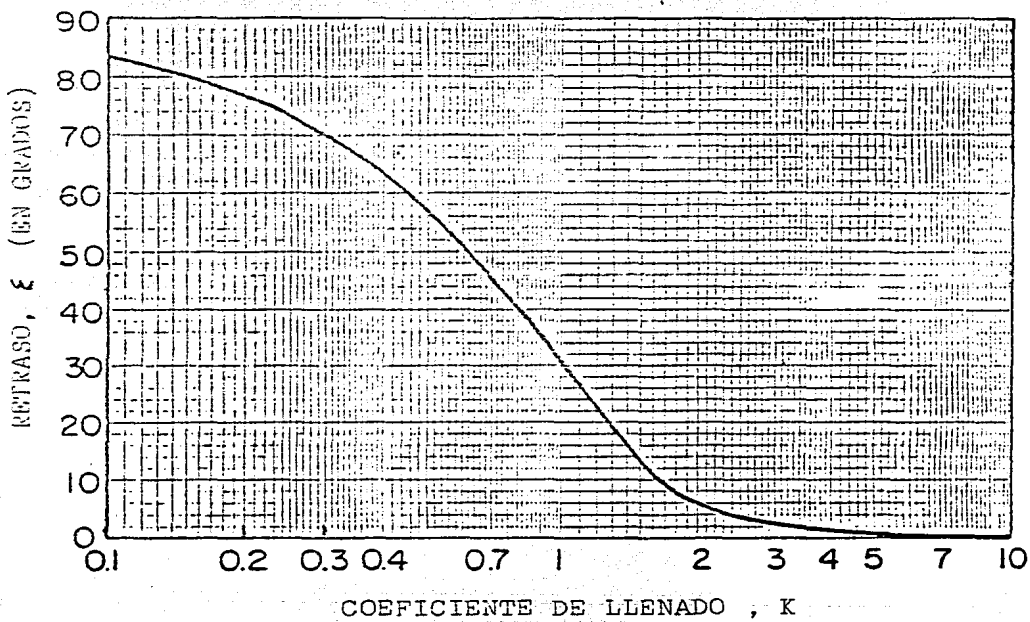


FIGURA 7.3.3

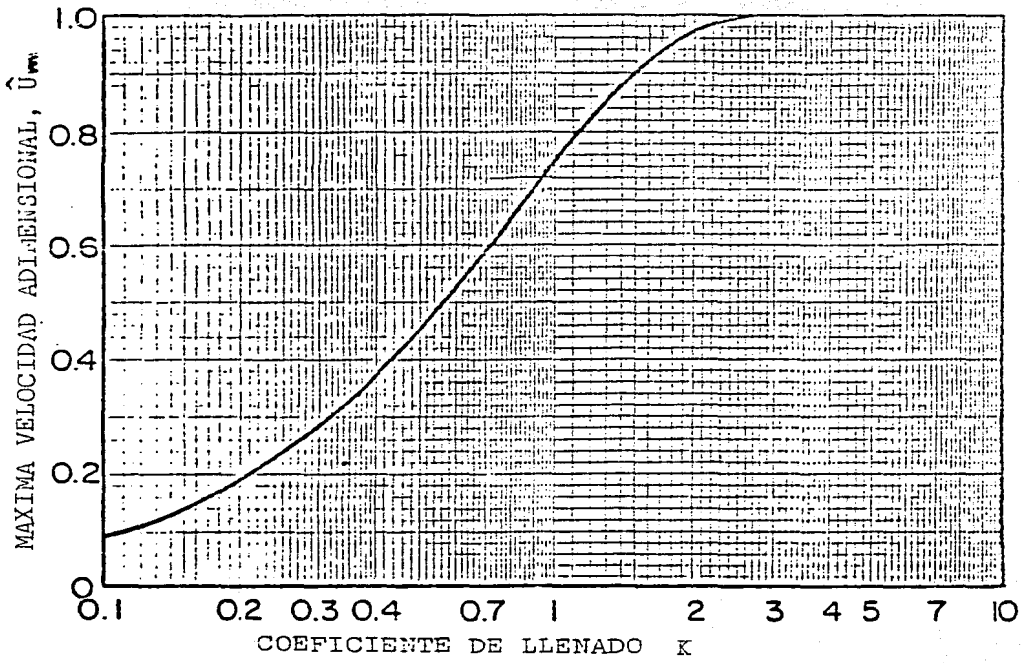


FIGURA 7.3.4

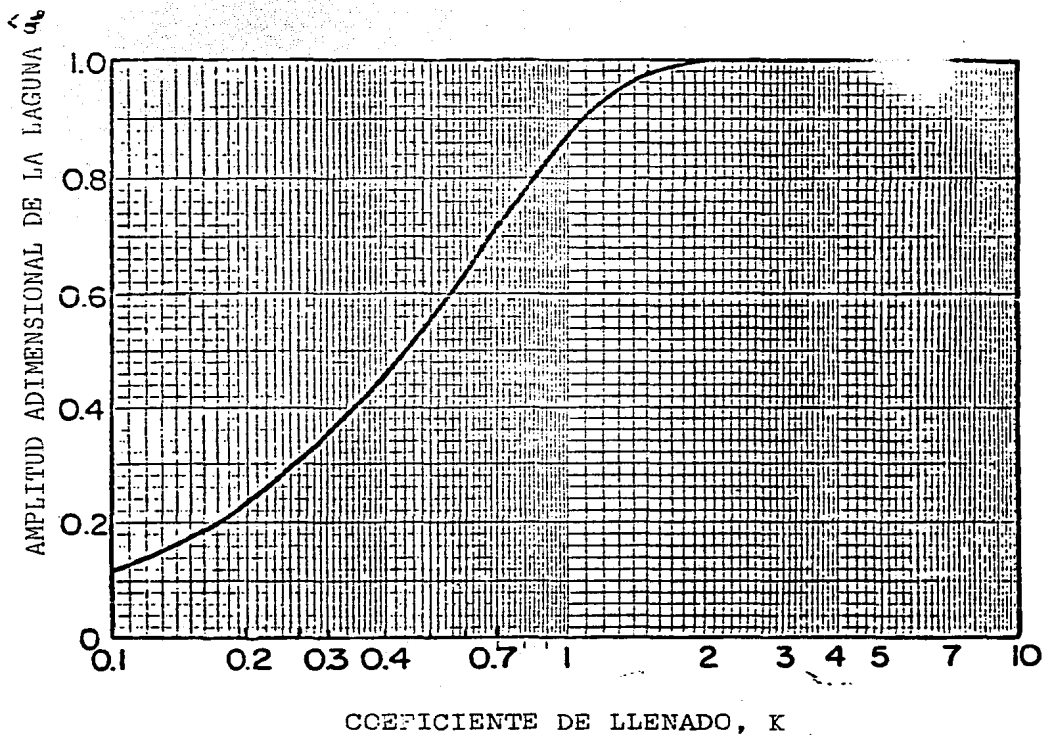


FIGURA 7.3.5

superficie es igual al del reposo del material y nulo en el fondo. El ángulo promedio del talud parabólico es, según el mismo autor:

$$\operatorname{sen} \alpha_m = \operatorname{sen} \varphi \sqrt{\frac{d_{\max}^2 - d_{\text{med}}^2}{d_{\text{med}}^2}}$$

Donde: φ = ángulo de fricción interna = 15°

d_{\max} = tirante máximo (supuesto) = 5 m.

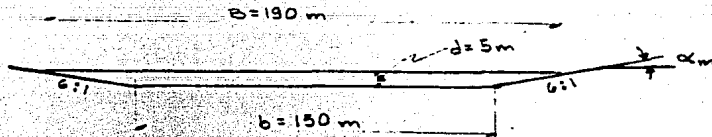
d_{med} = tirante medio (supuesto) = 3 m

haciendo la sustitución para el caso:

$$\operatorname{sen} \alpha_m = \operatorname{sen} 15^\circ \sqrt{\frac{4^2 - 3^2}{4^2}}$$

$$\alpha_m = 9.9^\circ ; \cot \alpha_m = 5.7$$

por lo tanto el canal tenderá a tener un talud 6:1, lo cual deberá modificarse en caso de que los tirantes reales varíen mucho de los considerados en las suposiciones. Tomando en cuenta que es factible el uso futuro del canal como entrada de embarcaciones pesqueras pequeñas a la laguna, se propuso una planicie de 130 m y un tirante de 5 m, resultando la sección con la siguiente geometría:



Que da un área hidráulica de 800 m^2 , un perímetro mojado de 190.3 m y un radio hidráulico de 4.2 m .

Tomando en cuenta que las mayores amplitudes se presentan en

las mareas vivas y por lo tanto las mayores velocidades. Se hizo un promedio de las amplitudes de marea de este tipo, el cual dio una amplitud de 1.22 m. Luego se buscó un ciclo de marea que tuviera esta amplitud para analizar el canal hidráulicamente. El ciclo de marea escogido es el mostrado en la figura 7.3.6 y pertenece a los días 18 y 19 de enero de 1984. Los parámetros empleados para el análisis, correspondientes a las características de la región, son los siguientes:

$$2a_0 = 1.22 \text{ m}$$

$$T = 12 \text{ hrs.}$$

$$Ab = 16.6 \times 10^6 \text{ m}^2$$

$$L = 300 \text{ m}$$

$$r = 0.027$$

$$Ken = 0.15$$

$$Kev = 1$$

$$\bar{U} = 2\pi/LT = 0.52 \text{ 1/hr}$$

$$F = 1.15 + (19.62 \times 300 \times 0.027^2) / 5^{2.7} = 2.488$$

La velocidad máxima en el canal según Metha es:

$$K = \frac{800}{0.61 \times 0.52 \times 16.6 \times 10^6} \left(\frac{19.62 \times 0.61}{2.5} \right)^{1/2} = 1.19$$

de la figura 7.3.4 $\bar{U}_m = 0.82$

$$\text{por lo tanto } U_{max} = \frac{0.82 \times 0.61 \times 0.52 \times 16.6 \times 10^6}{800 \times 3600} = 1.50 \text{ m/s}$$

El prisma de marea se calculó con la expresión:

$$P = 2ab \times Ab$$

de la figura 7.3.5 $\text{ablad} = 0.91$

$$P = 2 \times 0.91 \times 0.61 \times 16.6 \times 10^6 = 18.8 \times 10^6 \text{ m}^3$$

Para tener una mayor visión del rango de velocidades y a manera de comprobación, se realizó un tránsito de marea. En éste se utilizó la expresión para canales propuesta por Manning:

$$V = R^{2/3} S^{1/2} / n$$

donde: V = Velocidad en m/s
 R = Radio Hidráulico
 S = Pendiente Hidráulica.

La tabla 7.3.1 muestra el tránsito de marea, de donde se concluye que la velocidad máxima es de 1.61 m/s, la velocidad media 0.99 m/s y el prisma de marea $14.7 \times 10^6 \text{ m}^3$.

De lo anterior se puede concluir que el método propuesto por Metha coincide fuertemente con el de tránsito de marea, a pesar de las simplificaciones mencionadas. Se asumió que el prisma de marea es el calculado por el primer método ya que toma en cuenta el efecto de amortiguamiento en la laguna.

A fin de tener una visión completa del comportamiento del canal, se analizó hidráulicamente para una marea muerta correspondiente al día 11 de enero de 1984, que se muestra en la figura 7.3.7., con los siguientes resultados:

$$2a_0 = 0.23 \text{ m}$$

$$T = 24 \text{ hr}$$

$$\Gamma = 2 \times \pi / 24 = 0.262$$

$$K = \frac{800 \times 3600}{0.115 \times 0.262 \times 16.6 \times 10^6} \left(\frac{19.62 \times 0.115}{2.5} \right)^{1/2} = 5.47$$

de la figura 7.3.4 $U_B = 1$

por lo tanto $U_{B\max} = 0.174$ m/s

de la figura 7.3.5 $a_{B\max} = 1$

El prisma de marea es:

$$P = 2 \times 0.115 \times 1 \times 16.6 \times 10^6 = 3.82 \times 10^6 \text{ m}^3$$

Elevaciones (m)

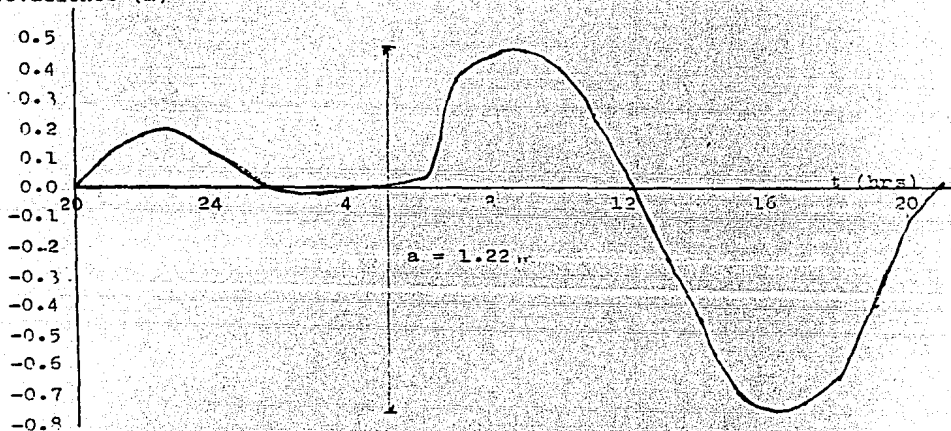


FIGURA 7.3.6 MAREA VIVA

Elevaciones (m)

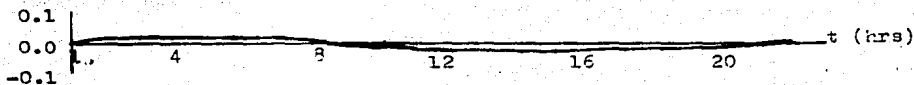


FIGURA 7.3.7 MAREA MUERTA

TESIS CON FALLAS DE ORIGEN

TRANSITO DE MARE.

pag 82

| T (hr) | ML (m) | NL (m) | S1 | U1 ($\frac{m}{s}$) | Qm ($\frac{m^3}{s}$) | Vol $\times 10^3$ (m^3) | ANL (m) | ML+1 (m) |
|-----------|-----------|-----------|------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------------|------------|-------------|
| 20 | 0.00 | 0.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 21 | 0.11 | 0.00 | 1.4×10^{-4} | 1.13 | 903.3 | 3252.0 | 0.196 | 0.195 |
| 22 | 0.17 | 0.155 | -3.1×10^{-5} | -0.55 | -426.2 | -1578.1 | -0.095 | 0.101 |
| 23 | 0.18 | 0.101 | 2.6×10^{-5} | 0.96 | 766.2 | 2758.6 | 0.166 | 0.267 |
| 24 | 0.11 | 0.267 | -1.96×10^{-4} | -1.25 | -1079.7 | -3665.5 | -0.234 | 0.033 |
| 1 | 0.06 | 0.033 | 2.4×10^{-5} | 0.56 | 477.9 | 1612.3 | 0.097 | 0.130 |
| 2 | -0.015 | 0.130 | -1.8×10^{-5} | -1.30 | -1027.5 | -3734.6 | -0.225 | -0.095 |
| 3 | -0.06 | -0.095 | 2.4×10^{-5} | 0.64 | 500.6 | 1631.0 | 0.110 | 0.015 |
| 4 | 0.00 | 0.055 | -1.9×10^{-5} | -0.22 | -228.6 | -1218.7 | -0.073 | -0.056 |
| 5 | 0.06 | -0.052 | 1.5×10^{-4} | 1.17 | 925.5 | 3267.6 | 0.203 | 0.125 |
| 6 | 0.305 | 0.145 | 2.0×10^{-4} | 1.35 | 1038.8 | 3923.2 | 0.236 | 0.381 |
| 7 | 0.366 | 0.261 | -1.9×10^{-5} | -0.42 | -326.3 | -1210.7 | -0.073 | 0.302 |
| 8 | 0.24 | 0.306 | 1.6×10^{-4} | 1.24 | 986.4 | 3558.2 | 0.214 | 0.522 |
| 9 | 0.46 | 0.523 | -7.6×10^{-5} | -0.85 | -681.8 | -2454.5 | -0.148 | 0.375 |
| 10 | 0.40 | 0.375 | 3.1×10^{-5} | 0.54 | 432.4 | 1565.5 | 0.074 | 0.465 |
| 11 | 0.245 | 0.469 | -2.8×10^{-4} | -1.61 | -1237.8 | -4636.2 | -0.279 | 0.189 |
| 12 | 0.00 | 0.189 | -2.4×10^{-4} | -1.48 | -1185.0 | -4265.9 | -0.257 | -0.062 |
| 13 | -0.245 | -0.062 | -2.2×10^{-4} | -1.43 | -1146.9 | -4128.7 | -0.249 | -0.316 |
| 14 | -0.460 | -0.316 | -1.8×10^{-4} | -1.29 | -1032.1 | -3715.4 | -0.224 | -0.54 |
| 15 | -0.70 | -0.540 | -2.0×10^{-4} | -1.36 | -1083.7 | -3919.2 | -0.236 | -0.776 |
| 16 | -0.76 | -0.775 | 2.04×10^{-5} | 0.44 | 348.1 | 1253.1 | 0.075 | -0.701 |
| 17 | -0.73 | -0.701 | -3.6×10^{-5} | -0.58 | -465.1 | -1674.2 | -0.101 | -0.802 |
| 18 | -0.64 | -0.802 | 2.0×10^{-4} | 1.37 | 1095.2 | 3942.9 | 0.238 | -0.562 |
| 19 | -0.40 | -0.562 | 2.0×10^{-4} | 1.38 | 1103.6 | 3973.0 | 0.239 | -0.325 |
| 20 | -0.122 | -0.325 | 2.5×10^{-4} | 1.53 | 1226.7 | 4416.1 | 0.266 | -0.059 |
| 21 | 0.00 | -0.059 | 7.4×10^{-5} | 0.83 | 660.5 | 2377.9 | 0.143 | 0.084 |
| 22 | 0.11 | 0.084 | 3.2×10^{-5} | 0.54 | 435.5 | 1567.8 | 0.094 | 0.179 |
| 23 | 0.17 | 0.179 | -1.1×10^{-5} | 0.32 | -256.6 | -923.9 | -0.056 | 0.123 |
| 24 | 0.18 | 0.123 | 7.0×10^{-5} | 0.81 | 649.0 | 2336.4 | 0.141 | 0.264 |
| 1 | 0.11 | 0.264 | -1.9×10^{-4} | -1.34 | -1068.7 | -3847.5 | -0.232 | 0.0322 |

| T (hr) | MM (m) | NL (m) | si | U1 ($\frac{m}{s}$) | Q1 ($\frac{m^3}{s}$) | Vol $\times 10^3$ (m^3) | AKL (m) | NLit1 (m) |
|-----------|-----------|-----------|-----------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------------|------------|--------------|
| 2 | 0.06 | 0.032 | 3.5×10^{-5} | 0.57 | 454.2 | 1635.0 | 0.098 | 0.131 |
| 3 | -0.015 | 0.131 | -1.6×10^{-4} | -1.30 | -1039.6 | -3742.6 | -0.225 | -0.094 |
| 4 | -0.06 | -0.095 | 4.3×10^{-5} | -0.63 | 507.9 | 1828.3 | 0.110 | 0.015 |
| 5 | 0.00 | 0.015 | -1.9×10^{-5} | -0.42 | -337.7 | -1215.6 | -0.073 | -0.058 |
| 6 | 0.06 | -0.058 | 1.5×10^{-4} | +1.17 | 935.1 | 3366.2 | 0.203 | 0.145 |
| 7 | 0.305 | 0.145 | 2.0×10^{-4} | 1.36 | 1065.7 | 3923.0 | 0.236 | 0.381 |
| 8 | 0.366 | 0.381 | -1.9×10^{-5} | -0.42 | -336.4 | -1210.9 | -0.073 | 0.308 |
| 9 | 0.44 | 0.308 | -1.7×10^{-4} | 1.24 | 928.4 | 3558.3 | 0.214 | 0.523 |
| 10 | 0.46 | 0.523 | -7.8×10^{-5} | -0.65 | -661.8 | -2454.4 | -0.148 | 0.375 |
| 11 | 0.40 | 0.375 | 3.2×10^{-5} | 0.54 | 432.8 | 1558.3 | 0.094 | 0.469 |
| 12 | 0.225 | 0.469 | -2.7×10^{-4} | 1.61 | -235.0 | -8536.7 | -0.279 | 0.189 |
| 13 | 0.00 | 0.189 | -2.4×10^{-4} | 1.68 | -1165.0 | -4266.1 | -0.257 | -0.068 |
| 14 | -0.245 | -0.068 | -2.2×10^{-4} | -1.43 | -1146.9 | -4128.7 | -0.249 | -0.316 |
| 15 | -0.460 | -0.316 | -1.6×10^{-4} | 1.29 | -1032.1 | -3715.5 | -0.224 | -0.540 |
| 16 | -0.70 | -0.54 | -2.0×10^{-4} | -1.36 | -1088.7 | -3919.2 | -0.236 | -0.776 |
| 17 | -0.76 | -0.776 | 2.0×10^{-5} | 0.44 | 348.1 | 1253.1 | 0.075 | -0.701 |
| 18 | -0.73 | -0.701 | -3.6×10^{-5} | -0.58 | -455.1 | -1674.2 | -0.101 | -0.802 |
| 19 | -0.64 | -0.802 | 2.0×10^{-4} | 1.37 | 1095.2 | 3942.9 | 0.238 | -0.564 |
| 20 | -0.40 | -0.564 | 2.05×10^{-4} | 1.36 | 1103.6 | 3973.0 | 0.239 | -0.325 |
| 21 | -0.122 | -0.325 | 2.5×10^{-4} | 1.53 | 1226.7 | 4416.1 | 0.266 | -0.059 |
| 22 | 0.00 | -0.059 | 7.3×10^{-5} | 0.83 | 660.5 | 2377.9 | 0.143 | 0.084 |

Hoja 2 de 2

MM=Nivel de marea en el
max

NL=Nivel en la laguna

V max = 1.61 m/s

V med = 0.99 m/s

P = $14.7 \times 10^6 m^3$

Tabla 7.3.1 TRANSITO DE MAREA

VIII. ANALISIS DE LA ESTABILIDAD.

El análisis de la estabilidad del canal se llevó a cabo con los criterios propuestos por Per Brunn y los propuestos por O'Brien y Matha.

El primer método es la relación prisma de marea a transporte litoral total. Per Brunn propone las siguientes relaciones:

$P / Mn > 200$ Buena estabilidad

$200 > P / Mn > 100$ Estabilidad deficiente.

$P / Mn < 100$ Inestabilidad

De acuerdo a los datos del capítulo anterior y del capítulo V, la relación es:

$$P / Mn = 18.4 \times 10^6 / 300\,000 = 61.3 < 100$$

Este resultado indicó que existirán grandes volúmenes de material que pasaran a través del canal, existiendo la posibilidad de obturarlo. Por lo anterior se considera que son necesarias obras de protección contra el transporte litoral. Estas pueden ser diseñadas para que lo detengan totalmente o sólo lo disminuyan significativamente.

La siguiente relación analizada es entre el esfuerzo cortante producido por la corriente y el que resiste el material del lecho. Según Lane, para materiales arenosos como el de la barra litoral en la que se excavará el canal, el valor del esfuerzo cortante que resiste el material es de 0.5 Kg / m^2 (fig 1.8 del Manual de Obras Civiles de la C.F.E., Hidráulica Fluvial). La forma de calcular el esfuerzo cortante producido por la corriente es:

$$\tau_c = \gamma v^2 / c^2$$

donde γ = peso específico del agua en Kg/m³
 V = Velocidad de la corriente en m/s
 C = Coeficiente de Chezy = $30 + 5 \log Ac$

Se realizó el análisis con velocidades máximas y medias, considerando las medias como las que rigen y las máximas para conocer el comportamiento en los instantes de condiciones extremas. Llevando a cabo la sustitución con los valores obtenidos en el capítulo anterior se obtuvo:

para velocidad máxima:

$$\tau_c = 1000 \times 1.61^2 / (30 + 5 \log 800)^2 = 1.3 \text{ Kg/m}^2$$

para velocidad media:

$$\tau_c = 1000 \times .982^2 / (30 + 5 \log 800)^2 = 0.49 \text{ Kg/m}^2$$

Como el esfuerzo cortante producido por la corriente, cuando la velocidad es máxima, es mayor que el resistido por el lecho, se espera erosión del canal.

Cuando la velocidad considerada es la media el canal es estable. El último criterio empleado de PerBrunn es la relación de capacidad de arrastre del canal y el transporte litoral total. A continuación se muestra el rango de estabilidad y el cálculo para el canal.

| | |
|-------|--------------------------------|
| M_s | Capacidad de arrastre del cana |
| ----- | ----- |
| M_t | Transporte litoral total |

El rango de estabilidad es:

0.7 < Ms / Mt < 1.6 estabilidad

Para calcular la capacidad de arrastre del canal primero necesitamos calcular el gasto sólido producido por la corriente que se calcula como:

$$q_s = \frac{10 \times V_c^{5/2}}{p \times D50 \times V^{1/2} \times (Ss-1)^2}$$

donde: q_s = gasto sólido unitario en $m^3 / s / m$

p = densidad del agua
 $= \rho / g = 1000 / 9.81 = 101.6 \text{ Kg. s}^2 / m$

$D50$ = Diámetro 50 del material = 0.41 mm

Ss = Densidad relativa de sólidos = 2.7

sustituyendo:

$$q_s = \frac{10 \times 1.3^{5/2}}{101.6 \times 0.00041 \times 1000^{1/2} \times (2.7 - 1)^2} = 0.00162 \text{ m}^3 / s / m$$

el gasto total del canal:

$$Q_s = q_s \times B = 0.00162 \times 190 = 0.309 \text{ m}^3 / s$$

el gasto sólido anual:

$$M_s = Q_s \times 365 \times 6 \text{ hr / día} \times 3600 \text{ s / hr} = 2.4 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$\text{entonces: } Ms / Mt = 2.4 \times 10^6 / 3 \times 10^5 = 8$$

Este resultado confirma la tendencia del canal a erosionarse, ya que la capacidad de arrastre es de 8 veces mayor que el transporte litoral. Del mismo modo se realizaron análisis para velocidad media, lo que arrojó una capacidad de arrastre del canal de $Qs = 0.027 \text{ m}^3 / \text{s}$, y la relación Ms / Mt tubo un valor de 0.71 que cae dentro del rango de estabilidad, aunque casi en el extremo inferior.

Por otra parte, O'Brien ha establecido una relación empírica entre el área de la boca y el prisma de marea a través de sus observaciones en varias entradas estables en Estados Unidos. El encontró que:

$$A = a \times P^m$$

donde según correlaciones empíricas de Metha para la costa del Pacífico y bocas protegidas con dos escolleras:

$$a = 1.01 \times 10^{-3}$$

$$m = 0.85$$

para lo cual A se obtiene en metros cuadrados y P se da en m. En nuestro caso:

$$A = 1.01 \times 10^{-3} \times (18.4 \times 10^6)^{0.85} = 1511 \text{ m}^2$$

Lo anterior indicó que ambos autores coinciden en que el

canal propuesto se erosionará durante los momentos donde ocurran velocidades máximas.

Para el tirante, O'Brien propone la siguiente ecuación:

$$dc = p \times B^q$$

donde B= ancho del canal en metros y

si $B < 150$ entonces $p = 0.082$ y $q = 0.8$
 y si $B > 150$ entonces $p = 1.661$ y $q = 0.2$

para $B = 190$ m, $dc = 1.661 \times 190^{0.2} = 4.74$ m.

Es por lo tanto factible que el canal se erosiona hacia los lados, teniendo ligeras variaciones en el tirante.

El siguiente paso fue analizar cuáles son las dimensiones a las que tiende a ser estable el canal. Para esto, se utilizaron los mismos parámetros que definen la estabilidad.

Si fijamos que el esfuerzo cortante producido por la corriente sea igual al que resiste la arena (0.5 Kg / m^2) y además que la capacidad de arrastre sea la misma que el transporte litoral ($300\ 000 \text{ m}^3$ / año), se logró la siguiente deducción:

$$M_s = M_t = Q_s \times 365 \times 6 \times 3600$$

$$300\ 000 = q_s \times B \times 365 \times 6 \times 3600$$

$$q_s \times B = 0.039$$

y se debe cumplir que:

$$q_s = \frac{10 \times 0.5^{5/2}}{101 \times 0.00041 \times 1000^2 \times 1.7^2} = 1.46 \times 10^{-4}$$

entonces:

$$B = 0.038 \cdot 11.46 \times 10^{-4} = 260 \text{ m}$$

Después debió buscarse el tirante en que efectivamente $U_c = 0.5$. Los cálculos se muestran en la tabla 8.1. De ésta se obtuvo que el área estable del canal para velocidades máximas, es de 260 metros de ancho en la superficie del agua, 200 m de plantilla y tirante de 6 m.. El talud medio se mantiene de 6:1 que dan un área hidráulica bajo el N.M.M. de 1416 m². Para hacer una comparación con el criterio de O'Brien, se obtuvo el primer de marea correspondiente a el área mayor:

$$K = 2.24 \text{ de la fig. 7.3.5 ad 1 ad} = 0.99$$

$$P = 2 \times 0.61 \times 0.99 \times 16.6 \times 10^6 = 20.05 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$A = 1.01 \times 10^{-3} \times (20.05 \times 10^6)^{0.85} = 1626.0 \text{ m}^2$$

de lo que se concluye que el rango de variación no es muy grande.

De acuerdo a lo analizado, se considera necesario dar mayor capacidad de arrastre de sedimentos al canal y así alejar su valor del extremo mínimo de la estabilidad. Esto se logra aumentando el ancho y disminuyendo el tirante para mantener el área, la velocidad y por lo tanto, un esfuerzo cortante parecido al propuesto anteriormente. Por lo tanto se propone excavar, de acuerdo a la tabla 8.1, un área de 920 m², con un tirante de 4m y taludes 6:1, que es la que cumple con lo buscado.

Para cuando ocurre la marea muerta, se tiene una tendencia al azolve, ya que las velocidades máximas serán de:

$$K = \frac{920 \times 3600}{0.115 \times 0.26 \times 16.6 \times 10^6} \frac{0.5}{(2g / 2.5)} = 18.7$$

$$V_{max} = 0.097 \text{ m/s.}$$

En conclusión se propone la excavación de un canal con sección de 920 m², plantilla de 260 m, taludes 6:1 y profundidad de plantilla de (4.0 - 0.39) 3.61 m con respecto al N.B.N.I a todo lo largo del eje marcado del canal. Se espera, de cualquier manera, que el canal esté en equilibrio dinámico, aumentando y disminuyendo su sección según las amplitudes de la marea. Estas variaciones no serían de gran magnitud para el caso de la obturación pero sí para la erosión; lo que puede considerarse favorable, ya que el prisma de marea aumenta. El canal requiere de obras de protección que disminuyan significativamente la entrada de sedimentos.

| B (ancho) | a (m) | A_2 (m ²) | K - | V_{max} (m/s) | V_{med} (m/s) | σ_{cmax} (Kg/m ³) | σ_{cmed} (Kg/m ³) |
|--------------|----------|----------------------------|--------|--------------------|--------------------|---|---|
| 260 | 5 | 1150 | 1.71 | 1.2 | 0.72 | 0.71 | 0.25 |
| 260 | 6 | 1416 | 2.24 | 1.04 | 0.62 | 0.52 | 0.167 |
| 260 | 4 | 920 | 1.7 | 1.46 | 0.89 | 1.06 | 0.40 |
| 260 | 4.5 | 1035 | 1.9 | 1.36 | 0.82 | 0.41 | 0.32 |

T A B L A 8 . 1

IX. DISEÑO DE OBRAS DE PROTECCION.

9.1. Dimensionamiento General.

De acuerdo con el planteamiento del anterior capítulo, son necesarias obras de protección. Se proponen dos escolleras que tengan como funciones principales: proteger el canal del transporte litoral y encauzar las corrientes de marea.

Las dimensiones de las escolleras están basadas en los requerimientos de protección, funcionamiento del canal y en el costo de construcción. La disposición de éstas debió ser tal, que el canal sea controlado en su posición horizontal y que la dirección de las corrientes correspondiera a la del flujo natural de marea. Por estas razones se propusieron perpendiculares a la costa o línea de playa. Para la separación, se tomó en cuenta que no fueran a tener problemas de socavación y que no impidieran el paso total del prisma de marea calculado, además de que no se perdiera demasiada velocidad en las corrientes de salida. Por lo que se propone una separación entre ejes de 300 m, tomando en cuenta que el ancho máximo que puede tener el canal es de 260 m. Con una separación mayor el área aumentaría y las velocidades disminuirían, lo cual no es favorable, ya que de la fuerza del flujo de salida, depende que los sedimentos queden inmediatamente fuera de la boca o a una distancia mayor, formando una barra. Además, las corrientes de reflujo funcionan como prolongación de las escolleras ya que detienen el transporte litoral.

Para determinar la longitud, se consideraron factores de economía y protección. La longitud mínima debió ser tal que protegiera el canal hasta que encontrara la profundidad de proyecto, que en nuestro caso es la batimétrica -3.6 m con respecto al N.B.M.I. y que detengan el acarreo litoral durante un tiempo suficiente para evitar dar mantenimiento en intervalos muy cortos de tiempo. Para el primer punto se determinó que con una longitud de 100 m se alcanza dicha batimétrica, según los levantamientos mencionados en el capítulo III y de la figura 3.2. El siguiente paso fue revisar el tiempo de llenado, para lo cual se utilizó el método de Boser que propone:

$$u = \frac{x}{\sqrt{g}} \sqrt{\frac{\alpha D}{4 x Q}} \quad \text{cuando } x = 0 \quad (a)$$

$$z = \sqrt{\frac{4 x \alpha x Q}{\rho l x D}} \sqrt{g} \quad \text{cuando } x = 0 \quad (b)$$

$$z = \alpha(x) \cdot F(u) \quad \text{cuando } x > 0.$$

$$Q = \alpha(x) \cdot G(u) \quad \text{cuando } x > 0.$$

Donde:

$E(u)$ y $F(u)$ son funciones propuestas por Bosen para cuantificar la figura geométrica en cuestión.

(x, z) son las coordenadas de un punto de la nueva línea de playa en el tiempo t

α = ángulo de incidencia del oleaje en radianes.

D = Profundidad en la escollera en el tiempo t

para emplear el método, se consideró el transporte litoral neto en sentido NW a SE que fue de 135 000 m³ / año (capítulo V). El ángulo α se obtuvo de los planos de refracción para la dirección W que es la reinante, éste tiene un valor de 14°. La pendiente de la playa, según los estudios de la batimetría (capítulo III) es de 0.04. Despejando el tiempo t de la ecuación (b)

$$t = \left(\frac{z}{\sqrt{\frac{4 x \alpha x Q}{\rho l x D}}} \right)^2$$

sustituyendo:

$$t = \left(\frac{100}{\frac{4 \times 0.24 \times 130000}{p1 \times 4}} \right)^2 = 1.02 \text{ años}$$

Es decir, el tiempo de llenado es de aproximadamente 12 meses el cual se considera deficiente. Por otra parte, una longitud muy grande de escolleras, además de las desventajas económicas, tiene las siguientes:

- a) Desplante profundo del extremo de escolleras, sujeto a oleajes muy altos y por lo tanto la necesidad de recurrir a correas de elementos artificiales de gran peso.
- b) Existe la posibilidad de ocasionar fuertes erosiones del lado Este de las escolleras.

Por lo anterior se propone dar una longitud de escolleras de 150 m. Esta tendría un tiempo de llenado de 3.4 años, lo que permitirá utilizar la escollera a la vez como espigón de prueba y poder cuantificar más verazmente el transporte litoral y tomar las decisiones convenientes según lo que se observe. Para ésto sería necesario comenzar primero las obras por la escollera Oeste.

En resumen, se propone construir dos escolleras perpendiculares a la costa con una longitud de 150 m y una separación entre ejes de 300m, la profundidad de desplante del morro será de 6m.

9.2. Diseño de los Elementos.

La ola de diseño para el caso de escolleras de tipo flexible que recomienda el Manual de Obras Civiles de la C.F.E. "Hidráulica Marítima", es la ola ciclónica significante. Según el capítulo IV, para el ciclón Andrés, ésta tiene un

valor de 20.41 m y un periodo significativo de 17.06 segundos. Fue necesario averiguar si esta ola rompe antes de llegar a la estructura o llega a romper sobre ella. Para conocer la máxima altura de ola que puede romper sobre las escollera, se utilizó la gráfica mostrada en la figura 9.2.1, extraída del libro "Design and Construction of Ports and Marine Structures" de Alonzo Def. Quinn. La profundidad de desplante se tomó como la determinada bajo el nivel medio del mar, más una sobreelevación producida por mareas extraordinarias como las de viento u oleaje; esta sobreelevación se consideró como la pleamar máxima registrada, que se encuentra a 0.85 metros sobre el nivel medio del mar.

Ya conocidas las características de ola que puede llegar a la estructura en sus diferentes secciones, se utilizó la fórmula propuesta por Hudson para determinar el peso de los elementos. La expresión es la siguiente:

$$W = R_s \times H^3 / K_d (S_s - 1)^3 \cot \Phi$$

donde:

W = peso de los elementos de la capa primaria o coraza, en Kgf.

R_s = peso específico del elemento que va a formar la coraza, en Kgf / m³

S_s = densidad de sólidos, adimensional.

H = altura de ola de diseño frente a una sección o tramo de escollera, en m.

Φ = ángulo del talud de la estructura con respecto a la horizontal, en grados sexagesimales.

K_d = coeficiente de estabilidad, adimensional

La roca que se recomienda emplear para formar el rompeolas es la del cerro aledaño de "Tepalcates". Este banco ha sido explotado para diversos pedraplanes en el puerto de Manzanillo y se considera de buena calidad. Su peso específico es de 2740 kg / m³. El talud que se recomienda, según el mismo manual, varía entre 1:511 a 3:1. Para los cálculos se consideró un talud 2:1 por contar con mayor información. El coeficiente de

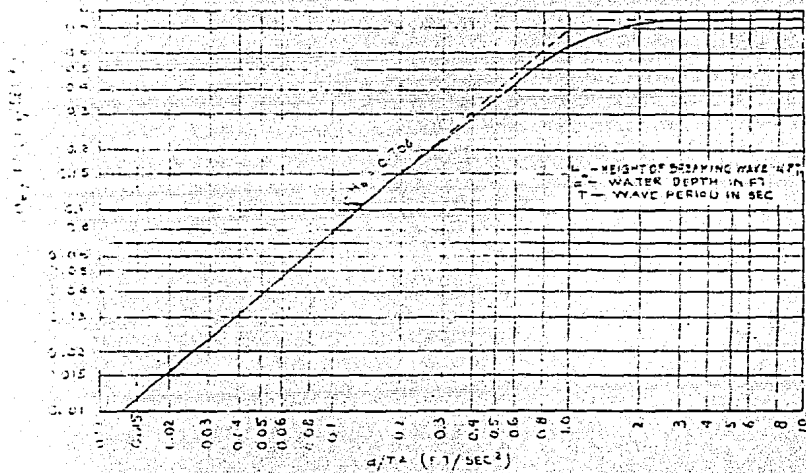
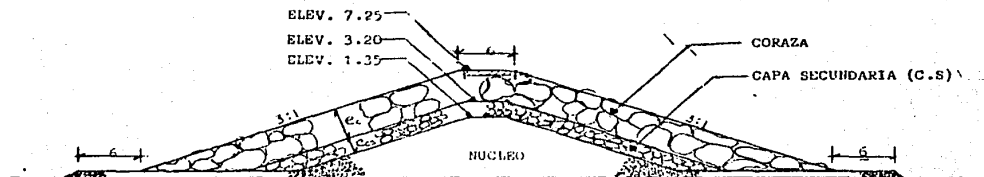


FIGURA 9.2.1 CURVA DE ROMPIMIENTO DE OLAJE

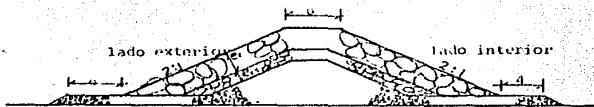
estabilidad se obtuvo de la tabla 1.13 del mismo manual de la C.F.E. Para lo cual se hicieron las consideraciones de que los elementos serán colocados al azar, y que el porcentaje de daño aceptado es de 0 a 5 por ciento.

Se dividió el cálculo de los pesos de los elementos de coraza en los necesarios para cada profundidad de -6, -4, -2, 0 metros, según las características de la ola sobre cada sección. En la tabla 9.2.1 se encuentran los valores de los pesos para los elementos de dichas secciones y su elevación, según las recomendaciones para las mismas del mismo manual. La figura 9.2.1 muestra las secciones con los pesos para las capas de coraza, capa secundaria y núcleo, con sus anchos respectivos. La figura 9.2.3 muestra el perfil longitudinal de la escollera según las elevaciones obtenidas.



SECCION CORAZA

Elev. C.S.= Elev Corona-Esp. Coraza
 Elev. Núcleo =Elev C.S-Esp. C.S



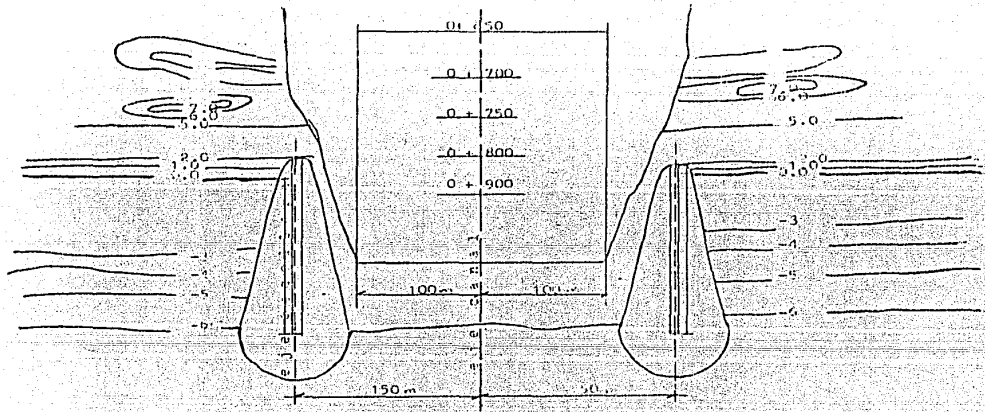
SECCION TIPICA TROHCO

| | 1 | u | 1 | 2 | 0 | m |
|----------------|--------|------|------|-------|-------|------|
| Hb | | 5.3 | 3.8 | 2.2 | 0.67 | m |
| Wc D A | I U | 13.8 | 4.4 | 0.85 | 0.02 | tons |
| | | 13.8 | 2.2 | 0.43 | 0.01 | tons |
| Wc B | I h | 1.4 | 0.44 | 0.09 | 0.00 | tons |
| | | 1.4 | 0.22 | 0.05 | 0.001 | tons |
| Wn | | 0.06 | 0.02 | 0.001 | 0.001 | tons |
| Esp C S | c s | 1 | 2.7 | 1.6 | 0.11 | m |
| | | 1.5 | 1.25 | 0.75 | 0.21 | m |
| Elev Corona | | 7.25 | 5.3 | 3.7 | 2.0 | m |

ESTE LADO EXTERIOR

PAGLA 9.2.1

FIG. 9.2.1 SECCIONES DE ESCOLLERA



PLANTA ESCOLLERAS

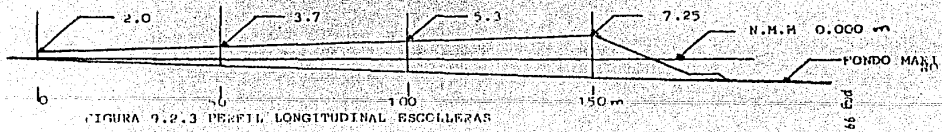


FIGURA 9.2.3 PERFIL LONGITUDINAL ESCOLLERAS

X. CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO.

El costo analizado de la obra incluye los siguientes conceptos:

- a) Costo de la excavación del canal y disposición del material
- b) Costo de las áreas por indemnizar
- c) Costo de las escolleras.

Para obtener el volumen de la excavación se utilizaron las secciones del eje del canal a cada 100 m., mencionadas en el capítulo III, y se promediaron en secciones consecutivas, obteniendo el volumen, multiplicando por la longitud en que influyen. El mismo volumen de la excavación será el que debe disponerse. Se propone colocar este material en el lado oriente de la escollera Este, que es donde se pronostica una erosión debida a las escolleras. Entonces, la longitud de acarreo no excederá un KM. por lo que su costo se considerará para la tarifa del primer kilómetro. El volumen de excavación es de 2,529,310 m³.

El área por indemnizar se determinó tomando en cuenta el ancho máximo que puede tomar el canal según sus taludes y la elevación del terreno en esa sección, más 10 m a cada lado de este para tránsito de camiones durante la construcción. En la longitud del canal, no se consideran por indemnizar los 20 m de derechos marítimos reservados por el gobierno desde la batimetría 0.0. El área total por indemnizar es de 30 hectáreas.

El costo de las escolleras se obtuvo calculando el volumen de material que requerirán, descontando los espacios vacíos entre rocas. Estos últimos se obtuvieron de la tabla 1.16 del manual de la C.F.S. antes citado. Según datos aportados por la Dirección General de Obras Marítimas, el costo por tonelada de roca colocada en coraza, con peso mayor de 4 ton, es de 19,533.00 pesos, en abril de 1987. Incluye explotación, selección, acarreo y colocación. Para pesos menores de 4 tons., el costo es de \$5,911.50. El cálculo de volúmenes de roca para las escolleras dio los siguientes resultados:

| Peso (tons) | Volumen (m ³) |
|-------------|---------------------------|
| 14 | 17,900 |
| 4.4 | 3,700 |
| 2.2 | 8,000 |
| 0.85 | 4,000 |
| 0.09 | 16,800 |

Así es que el costo total de la obra para los conceptos analizados es de:

| CONCEPTO | UNIDAD | CANTIDAD | P.U. (Pesos) | IMPORTE (X 10 ⁶ Pesos) |
|---|----------------|-----------|-----------------|--------------------------------------|
| Excavación y disposición del material | m ³ | 2,529,310 | 970 | 2,453.4 |
| Areas de indemnización | has. | 30 | 5,000,000 | 150.0 |
| Construcción de escolleras. Incluye: explotación, selección, carga, caminos, acarreo 2 Kms., descarga y colocación de roca. | | | | |
| -Elementos en Coraza con peso mayor de 4 tons. | ton. | 59,184 | 19,533.4 | 1,156.1 |
| -Elementos de coraza, capa secundaria y núcleo, con peso menor de 4 tons. | ton. | 78,912 | 6,911.6 | 545.4 |
| | | | | 1,701.5 |
| | | | T O T A L | 4,304.9 |

XI. CONCLUSIONES.

11.1 Conclusiones.

- 1.- La laguna acusa a un deterioro ecológico producido por la falta de una comunicación directa con el mar, bajas aportaciones de agua dulce, azolves y descargas de desechos urbanos provenientes de la Cd. de Manzanillo. Por lo tanto se propone la construcción de un canal de comunicación laguna-mar.
- 2.- La dirección del oleaje que más afecta a la zona proviene del Oeste con una altura y periodo significativa de 1.43 m y 3.12 s, respectivamente. La altura de ola media cuadrática es de 1.01 m. La altura de ola ciclónica significativa es de 21 m con periodo de 17.06 seg.
- 3.- La marea que se observa en la zona es del tipo semidiurna mixta, con una amplitud máxima registrada de 1.7 m. La amplitud promedio de marea viva es de 1.22 m.
- 4.- El viento reinante y el dominante proviene del Noroeste, con una velocidad promedio de 6.6 mis.
- 5.- El transporte litoral total se estimó en 300 000 m³ anuales. El transporte neto anual es de 100 000 m³ con una dirección NW a SE. El transporte eólico es insignificante.
- 6.- La sección propuesta para el canal de comunicación es de 250 metros de ancho, profundidad de 4 m bajo el nivel medio del mar y taludes 6:1, que dan un área hidráulica de 920 m².
- 7.- Con dicha sección se alcanzan velocidades máximas de 1.46 mis, gasto máximo de 1343 m³ ls; velocidades medias de 0.99 mis y gasto medio de 619 m³ ls.
- 8.- El prisma de marea para dicha sección es de 18.8 x 10⁶ m³.
- 9.- Se requieren obras de protección contra el transporte

litoral.

- 10.- Se proponen dos escolleras perpendiculares a la costa con una longitud de 150 m, separación entre ejes de 300 m.
- 11.- El costo esperado de la obra es de 4304.5 millones de pesos.

11.1. Recomendaciones:

- 1.- Hacer un estudio más exhaustivo del transporte litoral a través de espigones de prueba.
- 2.- Realizar análisis de suelos del material entre la zona de dunas y la laguna.
- 3.- Realizar análisis de la capacidad de carga del suelo sobre el que se cesplantarán las obras de protección.
- 4.- Realizar un modelo físico en el que se pongan a prueba las obras de protección y el funcionamiento del canal.
- 5.- Llevar un registro del comportamiento del canal ya en funcionamiento, para poder alcanzar nuevas conclusiones.

B I B L I O G R A F I A

- BRUUN, P, Stability of Tidal Inlets: Theory and Engineering. North Holland Publishing Co. Amsterdam, 1960
- MAZA Alvarez, Jose, Manual de Diseño de Obras Civiles, Hidrotecnia, Hidráulica Marítima. Comisión Federal de Electricidad, Cd de México, 1983
- WIEGEL, Robert, Oceanographical Engineering. Prentice Hall Inc. N.J, 1964
- RUSSEL C. y WOLF, Paul, Topografía Moderna. Harla, Cd. de México, 1983
- HERREJON De la Torre, Luis, Estructuras Marítimas. Ed. Limusa, Cd. de México, 1979.
- U.S. ARMY Coastal Engineering Research Center, Shore Protection Manual, Vol. I, II y III, Washintong, 1977
- DIVISION de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M., Apuntes del Curso "Proyecto y Construcción de Obras Mar. Estimas", Cd. de México, 1986
- ESCOFFIER, F.F., "The Stability of Tidal Inlets", Revista Shore and Beach, Vol. 8, No. 4, octubre 1940, pp 114-115
- KEULEGAN, G.H., "Tidal Flow in Entrances: Water level Fluctuation of Basin and Communications with Seas", Technical Bulletin No. 14, U.S. Corps of Engineering. Commite on Tidal Hydraulics, Vicksburg, julio de 1967

MEHTA A.J. y OZOV , "Inlets Hydraulics: Flow Dynamics and Near Shore Transport", BRUUN, P, "Stability of Tidal Inlets, Theory and Engineering", Scientific Publishing Co. Amsterdam, The Netherlands, 1978, pp. 83-161

O'BRIEN, M.P., "Equilibrium Flow Areas of Inlets on Sandy Coast".
Journal of the Waterways and Harbors Division, American Society of Civil Engineering, Vol 95, No WW1, Proc. Paper 6405, febrero 1969, pp. 43-52

REFERENCIA

- (1) Maza, Jose, Manual de Diseño de Obras Civiles, Hidrotecnia, Hidráulica Fluvial. Comisión Federal de Electricidad, Cd de México, 1981