



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

ANTEPROYECTO DE UN MODELO HIDRAULICO DEL PUERTO DEL SAUZAL



T E S I S
que para obtener el título de
O C E A N O L O G O
presenta
PABLO MEDINA ENRIQUEZ

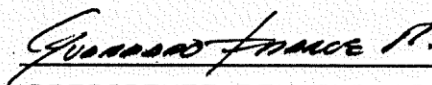
ENSENADA, B.C. MEXICO, MAYO 1993

"ANTEPROYECTO DE UN MODELO HIDRAULICO
DEL PUERTO DEL SAUZAL"

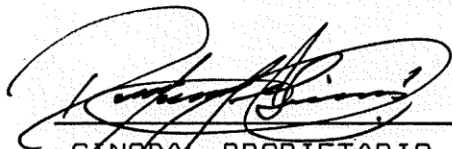
T E S I S
QUE PRESENTA:

PABLO MEDINA ENRIQUEZ

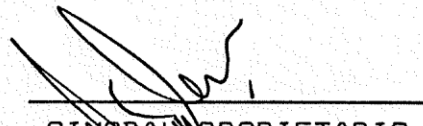
APROBADA POR:



PRESIDENTE DEL JURADO
Oc. RIGOBERTO GUARDADO FRANCE



SINODAL PROPIETARIO
Oc. RAFAEL GARCIA KRASOVSKY



SINODAL PROPIETARIO
Oc. OSCAR GONZALEZ YAJIMOVICH

A MIS PADRES
UNOS GRANDES EJEMPLOS DIFICILES DE SUPERAR

A MIS HERMANAS
POR SU GRAN APOYO

A ANGELICA
POR SU GRAN AMOR

A TODA LA BOLA DE ZARAPAHUILOS
POR COMPARTIR TANTOS AÑOS JUNTOS Y
POR UNA GRAN AMISTAD

AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer a todas aquellas personas que ayudaron en la realización de este trabajo, en particular quiero agradecer a mi director y a mis sinodales por el tiempo que me dedicaron y por sus oportunos comentarios.

No puedo dejar de mencionar al Ing. Cesar Obregón sin el que habría sido imposible la construcción del modelo. También hay que agradecer al Ing. Uribe director de la Escuela Superior de Ingeniería y al personal de esta escuela por su ayuda, al personal del centro de cómputo y, de manera muy especial, al MC. Francisco Suárez por su apoyo y amistad.

No puedo dejar de agradecer a todos los que ayudaron haciendo mezcla, cargando tierra y piedras, apisonando, pintando, midiendo, ... y que me dijeron que me graduaria de "maistro".

Lo más probable es que olvide a much gente, para todos ellos GRACIAS.

I N D I C E

RESUMEN	I
LISTA DE FIGURAS	II
LISTA DE TABLAS	IV
I. INTRODUCCION	1
II. ANTECEDENTES	5
III. OBJETIVO	13
IV. AREA DE ESTUDIO	14
V. METODOLOGIA	16
V.1 NATURALEZA DE OLEAJE	17
V.2 BATIMETRIA	19
V.3 ESTUDIOS DE REFRACCION	20
V.4 CARACTERISTICAS FISICAS DE LAS ESTRUCTURAS	21
V.5 NIVEL DE AGUA	22
V.6 ESCALAS	22
V.7 MODELO DE PRUEBA	23
VI. RESULTADOS	25
VI.1 NATURALEZA DE OLEAJE	25
VI.2 BATIMETRIA	28
VI.3 REFRACCION	31
VI.4 CARACTERISTICAS FISICAS DE LAS ESTRUCTURAS	40
VI.5 NIVEL DE AGUA	40
VI.6 ESCALAS	40

VII. MODELO DE PRUEBA	50
VII.1 DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL MODELO	50
VII.2 ELIMINACION DE REFLECCION	55
VII.3 CALIBRACIONES	56
VII.4 MEDICIONES Y RESULTADOS	61
VIII. DISCUSIONES	75
IX. CONCLUSIONES	79
APENDICE I.- DEFINICIONES	81
BIBLIOGRAFIA	82

RESUMEN

Debido al aumento en la razón de retroceso de la línea de costa, al sur del puerto del Sauzal de Rodríguez B.C., a partir de la construcción del mismo, se propone la realización de un modelo hidráulico de fondo fijo para el estudio del problema, y se proporcionan todos los datos necesarios para la construcción del modelo en la cuba de ondas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, así como la manera en que se obtuvieron. Para corroborar la veracidad de los datos fue necesario construir un modelo en las instalaciones de la Escuela Superior de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California que representa una porción del modelo propuesto. Son descritos el proceso de construcción de este modelo y las mediciones que se llevaron a cabo. Así mismo se discuten las limitaciones que presentan las instalaciones y el equipo de la Escuela Superior de Ingeniería, las cuales solo permitieron obtener resultados cualitativos. Por esta razón se proponen modificaciones al equipo y se ratifica que al menos cualitativamente los datos propuestos para la construcción del modelo son correctos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.-	Area de estudio. _____	2
Figura 2.-	Circulación superficial en la Bahía de Todos Santos (Argote-Espinoza, et al, 1975, tomado de Ortiz-García, 1991). _____	8
Figura 3.-	Patrón de circulación en el área de estudio. (Tomado de Aranda-Manteca, 1983) _____	9
Figura 4.-	Gráficas anuales para el oleaje de periodo 8-6 seg. a)1985, b)1986. _____	26
Figura 5.-	Gráficas anuales para el oleaje de periodo 16-14 seg. a)1985, b)1986. _____	27
Figura 6.-	Gráficas anuales, alturas significantes para los años de 1985 y 1986. a)1985, b)1986. _____	30
Figura 7.-	Plano batimétrico de la zona de estudio. _____	33
Figura 8.-	Plano de refracción para oleaje de periodo de 6 seg y ángulo de aproximación de 285°. _____	34
Figura 9.-	Plano de refracción para oleaje de periodo de 8 seg y ángulo de aproximación de 285°. _____	35
Figura 10.-	Plano de refracción para oleaje de periodo de 14 seg y ángulo de aproximación de 280°. _____	36
Figura 11.-	Plano de refracción para oleaje de periodo de 14 seg y ángulo de aproximación de 265°. _____	37
Figura 12.-	Plano de refracción para oleaje de periodo de 16 seg y ángulo de aproximación de 280°. _____	38
Figura 13.-	Plano de refracción para oleaje de periodo de 16 seg y ángulo de aproximación de 265°. _____	39
Figura 14.-	Plano de las estructuras portuarias del puerto del Sauzal de Rodríguez. _____	42

Figura 15.- Posición de los transectos en el rompeolas.	42
Figura 16.- Posición de los transectos en el espigón.	43
Figura 17.- Area a representar.	54
Figura 18.- Diagrama de las dimensiones verticales.	54
Figura 19.- Disipadores de energía.	58
Figura 20.- Curva de calibración del generador de oleaje.	58
Figura 21.- Diagrama del sensor de oleaje.	62
Figura 22.- Diagrama de la tarjeta electrónica para amplificación de la señal del sensor de oleaje.	62
Figura 23.- Curva de calibración del sensor a los 39.5cm.	64
Figura 24.- Deriva de la medición a los 26.2cm.	64
Figura 25.- Influencia del viento sobre las mediciones.	65
Figura 26 a.- Gráfica del experimento de estabilización.	66
Figura 26 b.- Gráfica del experimento de estabilización.	67
Figura 26 c.- Gráfica del experimento de estabilización.	68
Figura 26 d.- Gráfica del experimento de estabilización.	69
Figura 27 a.- Gráfica del experimento de repetitividad.	71
Figura 27 b.- Gráfica del experimento de repetitividad.	72
Figura 27 c.- Gráfica del experimento de repetitividad.	73
Figura 28.- Diagrama de corrientes superficiales en el modelo.	74

LISTA DE TABLAS

Tabla I: Periodos y ángulos de aproximación del oleaje al puerto del Sauzal de Rodríguez. _____	29
Tabla II: Alturas significantes del oleaje (Medidas a 10 m de profundidad). _____	29
Tabla III: Periodo, longitud de onda y profundidad a la que sienten fondo. _____	32
Tabla IV: Casos de oleaje considerados. _____	32
Tabla V: Angulos de aproximación del oleaje al rompeolas del puerto del Sauzal de Rodríguez. _____	42
Tabla VI: Longitud y orientación de las estructuras portuarias. _____	42
Tabla VII: Pendientes de las obras de protección. _____	45
Tabla VIII: Mareas en la Bahía de Todos Santos. _____	46
Tabla IX: Valores de profundidad corregidos con respecto al Nivel de Pleamar Media Superior. _____	46
Tabla X: Escalas (En función de la escala horizontal, vertical y de la condición de Froude). _____	47
Tabla XI: Dimensiones totales a modelar. _____	47
Tabla XII: Valores del prototipo a escala. _____	48
Tabla XIII: Dimensiones Prototipo-Modelo y Escalas x-y. _____	52
Tabla XIV: Características del oleaje a representar. _____	52

I. INTRODUCCION

Las obras de ingeniería costera, como rompeolas y espigones, traen consigo efectos colaterales directos no deseados. Uno de estos es la erosión costa abajo (Komar 1983, Moutzouris 1990, citado en Silvester, R. y Hsu, J. 1993). Esta se debe a los nuevos patrones de difracción y refracción provocados por las estructuras, las cuales hacen que el oleaje incida en forma oblicua a la línea de costa existente, y puede erosionarla si el aporte de sedimento se detiene por procesos naturales o por la intervención del hombre (Silvester, R. y Hsu, J. 1993).

El poblado del Sauzal de Rodríguez, en la costa Oeste de Baja California, presenta problemas de retroceso de la línea de costa. A partir de la construcción del puerto del Sauzal en 1982 (fig. 1), la razón de retroceso, al sur del puerto, aumentó en diferentes partes dentro de la zona (Guardado-France, 1990).

Para desarrollar estudios sobre el efecto que tiene el rompeolas en la zona costera aledaña, en el presente trabajo se propone un modelo (ver apéndice de definiciones) físico de fondo fijo, distorsionado, cuyas condiciones de similitud están regidas por un número de Froude. Un modelo físico correctamente escalado recreará debidamente la física del proceso estudiado a un tamaño manejable, física y económicamente (Markle, D.G., 1989).

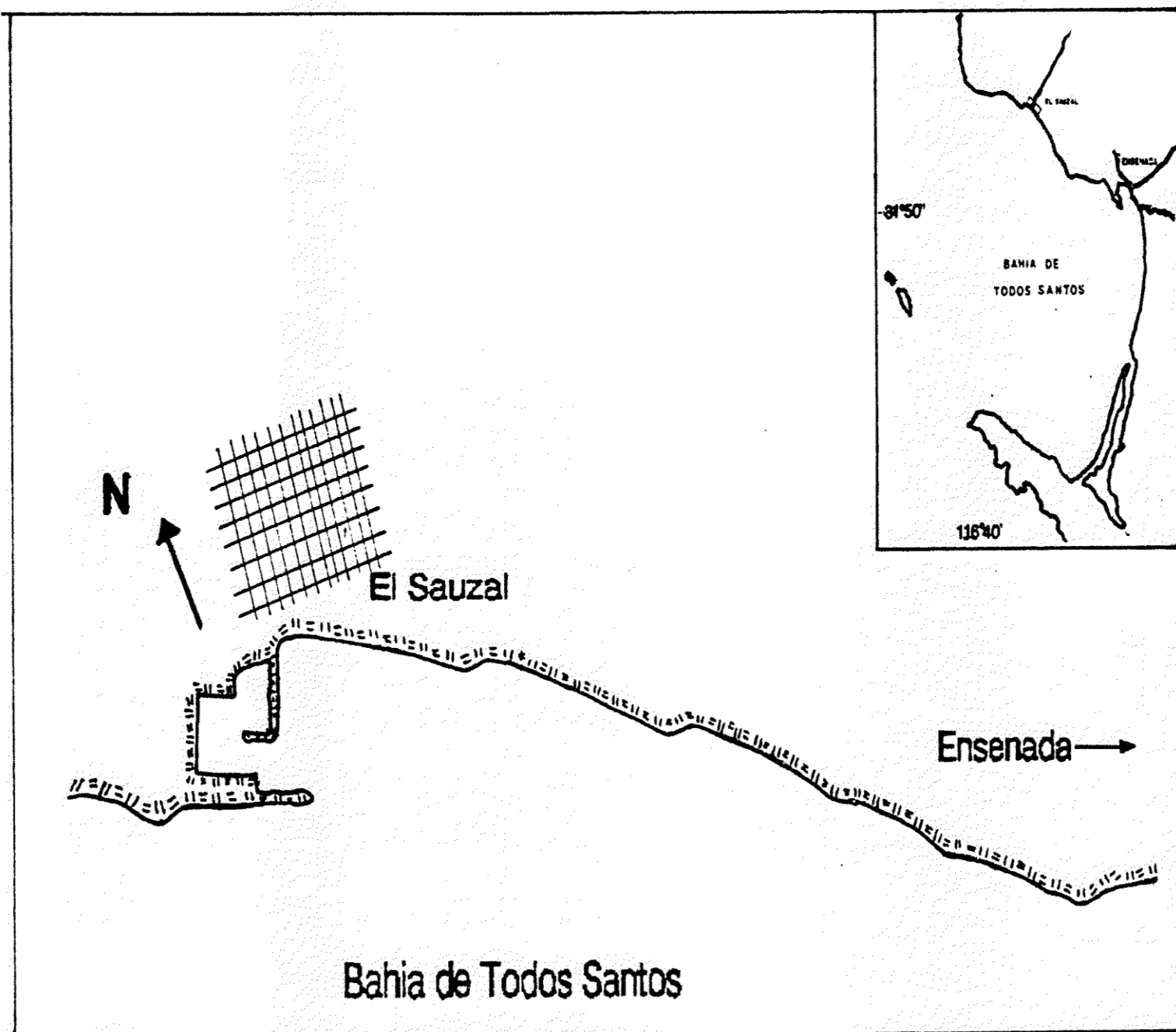


Figura 1.- Area de estudio.

Entre las ventajas que presentan los modelos físicos están:

a) Se reproducen con exactitud las condiciones de frontera - por muy complejas que éstas sean -, las cuales no siempre se pueden incluir en los modelos matemáticos.

b) Se reproducen los efectos no lineales, los que frecuentemente no es posible hacerlos intervenir en los modelos matemáticos.

c) Permiten la visualización en conjunto de todos los fenómenos a lo largo de todo el espacio del modelo y en forma continua en el tiempo.

d) En el estudio de obras hidráulicas de cualquier tipo, se visualizan rápidamente las modificaciones que deben hacerse a cada componente de ellas, para que el conjunto funcione satisfactoriamente desde el punto de vista hidráulico (Comisión Federal de Electricidad, 1983).

Entre las limitaciones de este tipo de modelos destaca su alto costo. Sin embargo, al considerar la gran inversión que representa una obra costera, los resultados que se obtienen justifican su costo.

Si los resultados obtenidos en un modelo se desean transferir a un prototipo es necesario que los dos sistemas de flujo sean hidráulicamente similares. Por tanto, para que un modelo represente un fenómeno debe cumplir tres condiciones de similitud o semejanza con su prototipo: la geométrica (longitud, área, volumen), la cinemática (tiempo,

velocidad, aceleración) y la dinámica (fuerza, presión, trabajo) (Comisión Federal de Electricidad, 1983).

El presente trabajo está estructurado de la siguiente manera: En el capítulo de antecedentes, se da un panorama general del puerto del Sauzal de Rodríguez y de los estudios existentes sobre los factores naturales de la Bahía de Todos Santos, factores que intervienen en el diseño del modelo. Además se presentan algunos antecedentes particulares sobre modelos. En el capítulo siguiente se describe el área de estudio e inmediatamente después, en el capítulo de metodología, se menciona la información necesaria para el desarrollo del trabajo y la manera en que ésta se obtuvo. También se plantea la necesidad de desarrollar un modelo de prueba; la descripción de los procesos de diseño, construcción, y medición se dan en este capítulo. Para concluir, en los últimos dos capítulos se discute el trabajo y se dan las conclusiones del mismo, respectivamente.

II. ANTECEDENTES

Bahía de Todos Santos

En esta sección se da un panorama general del puerto del Sauzal de Rodríguez y de los estudios existentes sobre los factores naturales de la Bahía de Todos Santos (BTS), mismos que intervienen en el diseño del modelo.

El Sauzal de Rodríguez fue originalmente un poblado cuyos habitantes se dedicaban exclusivamente a la pesca. A medida que transcurrió el tiempo la zona adquirió un interés generalizado desde el punto de vista turístico (Guardado-France, 1990).

El gran desarrollo que tuvo durante los años setenta la zona de la BTS, tanto en el sector turístico como en el pesquero, trajo consigo problemas en el tráfico y en las operaciones portuarias del puerto de Ensenada, por lo que fue conveniente buscarles solución. El Estudio Nacional de Desarrollo Portuario publicado en 1974 señala que de acuerdo con los análisis realizados para dicho puerto existen varias actividades sobre las cuales fincar el desarrollo del mismo: la primera de ellas consiste en el desarrollo de la industria pesquera; para ello el estudio menciona el Programa de Obras e Instalaciones del puerto pesquero de El Sauzal de Rodríguez B.C. Así, en 1978, se crea el Programa de Inversiones para Puertos Pesqueros. En 1981 se inicia su construcción y es

terminado en 1982 (Espinoza-Díaz, 1990).

El Sauzal de Rodríguez contaba hasta antes de 1982 con tan sólo un atracadero para las embarcaciones. A partir del desarrollo del puerto se han venido suscitando una serie de problemas en la franja costera, al sur de dicho poblado, que se reflejan en un retroceso de la línea de costa; éste ha llegado a tal grado que se ha necesitado generar obras de protección. (Guardado-France, 1990).

Guardado-France (1990) establece una razón de retroceso promedio de la línea de costa de 2 m por año, de 1959 a 1985, y da una razón máxima de 3 m por año para algunas zonas. Además menciona que el problema de retroceso en la zona se ve agudizado por el efecto de la infraestructura portuaria del Sauzal de Rodríguez.

Argote-Espinoza *et. al.* (1975 en Ortiz-García, 1991), estudia el patrón de circulación superficial en la BTS, y encuentra que en la parte Norte (fig. 2) es en dirección Sureste bajo la influencia de vientos provenientes del Noroeste, invirtiéndose la circulación cuando la influencia es del Suroeste.

López-Luna (1990) estudia la corriente superficial de detrás de la rompiente en las playas del Sauzal; y Pesquera Zapata, por medio de la utilización de rodamina, determina que la dirección es de Noroeste a Sureste.

Baca-Chacón (1981) indica con base en parámetros

texturales, que en el Sur (Punta Banda) la corriente litoral es hacia el Norte de la bahía, mientras que en el Noroeste (Punta San Miguel) es hacia el Sur.

Aranda-Manteca (1983) determina la dirección de la corriente litoral en la BTS por medio del estudio de minerales pesados que utiliza como trazadores de la corriente, y así efectúa un patrón detallado de estas. Menciona que para la zona del Sauzal la corriente va en dirección Sureste (fig. 3).

Torres-Navarrete (1986) calcula y compara los principales parámetros estadísticos del oleaje por medio de dos técnicas distintas. Sus estudios los realizó en la localidad de La Jolla, al sur de la bahía.

Padilla- Hernández (1989), realiza un trabajo en la zona de Rosarito B.C., en el que estudia la potencia y dirección del oleaje en la costa Noroeste de la península de Baja California, con el fin de aprovechar su energía. Concluye que el oleaje más energético es el *swell* de la banda de periodo 16 seg, con una longitud de onda de 154.2 m a 10 m de profundidad y que el aporte total de energía es del 36.56 %. En cuanto a las direcciones de arribo menciona que éstas se alternan entre Suroeste y Noroeste, sin embargo el oleaje más energético proviene del Noroeste.

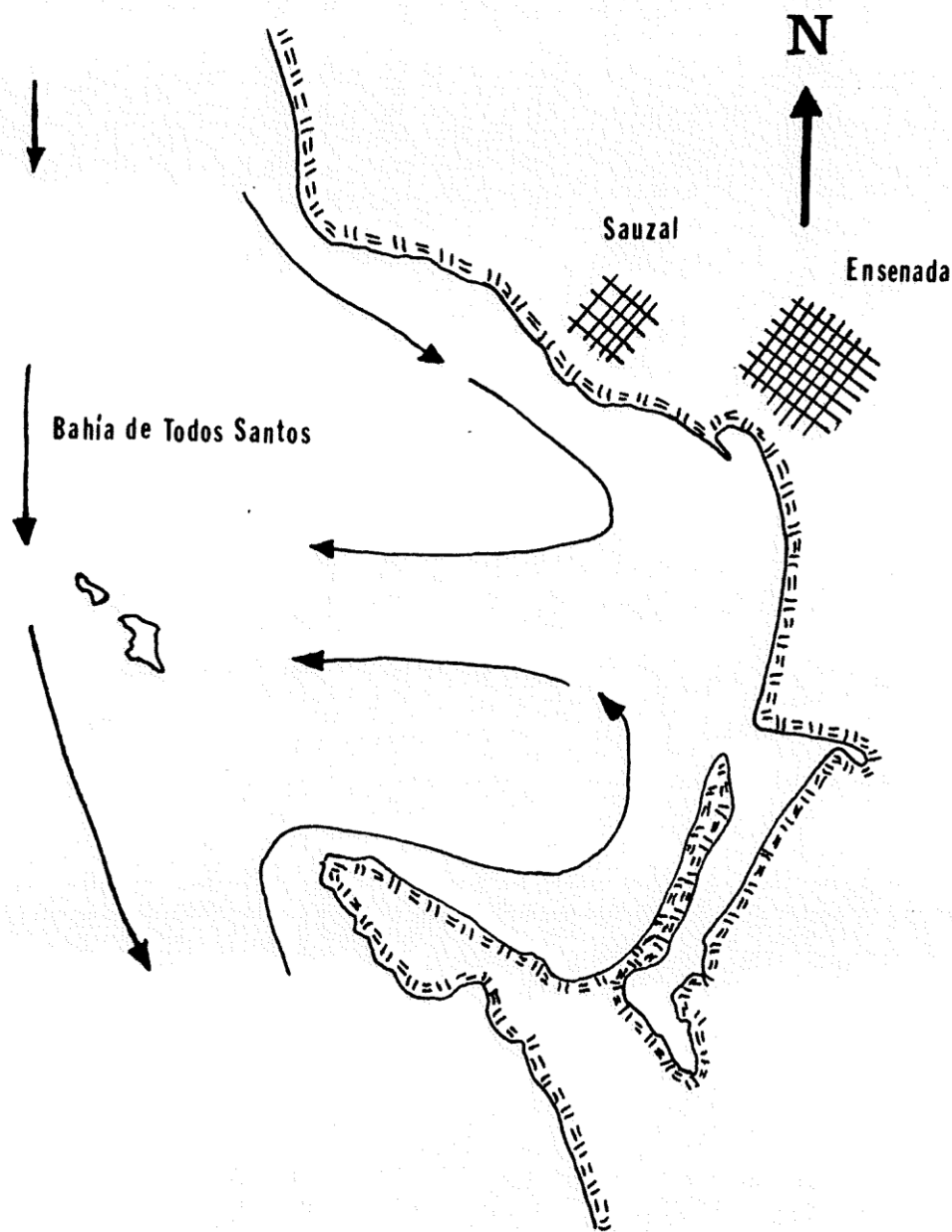


Figura 2.- Circulación superficial en la BTS (Argote-Espinoza, et al, 1975, tomado de Ortiz-García, 1991)

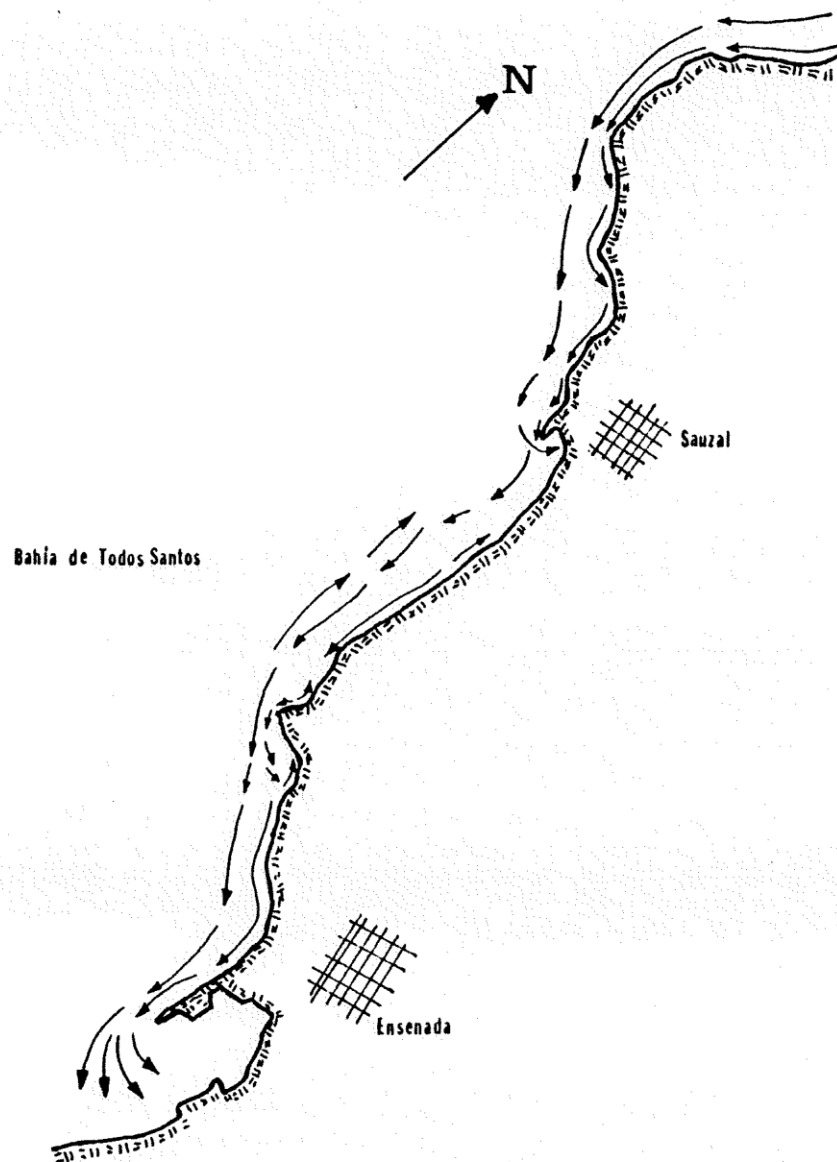


Figura 3.- Patrón de circulación en el área de estudio.
(Tomado de Aranda-Manteca , 1983)

Ulloa-Torres (1989), realiza un trabajo de refracción en la bahía enfocado al puerto de la ciudad de Ensenada. Menciona que es poco lo que se sabe acerca de la refracción del oleaje dentro de la misma ya que los estudios efectuados están principalmente enfocados a estimar el transporte de sedimentos por lo que no aportan información detallada del fenómeno de refracción ni de la metodología utilizada para su cálculo. También dice que otros autores como O'Brien y Zeervaert (1968) y González (1980) utilizaron datos de observaciones visuales realizadas desde barcos; y que los primeros elaboraron diagramas de refracción en el intervalo de direcciones de 237° a 305° para periodos de 5 seg, 8 seg, y 15 seg. Comenta asimismo que la compañía privada "Consultores S.A.", (1977), empleó las direcciones de 270° y 315° para los periodos de 5 seg, 6 seg, 8 seg y 10 seg.

Ulloa-Torres (1989), menciona que la bahía presenta una zona de refracción intensa en la región somera ubicada entre las islas de Todos Santos y punta San Miguel. Los principales rasgos batimétricos que modifican las trayectorias de las ortogonales en esta zona son: El bajo San Miguel y el bajo ubicado frente a punta El Sauzal.

Espinoza-Díaz (1990), encuentra que una isóbata de 20 m de forma circular que se encuentra frente a punta El Sauzal, junto con el contorno batimétrico de los 10 m, cambia la trayectoria de las ortogonales hacia la costa.

Modelos Físicos

Los antecedentes particulares sobre modelos son muy extensos. A nivel mundial, desde hace varias décadas, la ingeniería los ha utilizado mucho como recurso para realizar diversos estudios (Di Silvio y Fiorillo, 1981). La mayoría de los modelos que representan regiones costeras o estructuras costeras, están distorsionados debido a que es necesario representar dimensiones horizontales, las que son mucho más grandes que las verticales. Se han utilizado con éxito modelos para estudiar la estabilidad de estructuras, transporte litoral, difracción y refacción de oleaje, corrientes, erosión y depositación, análisis de problemas de navegación, etcétera.

Los laboratorios de hidráulica que destacan por sus trabajos son, entre otros, el laboratorio Waterways Experiment Station en Vicksburg, Mississippi, Estados Unidos; el Delft Hydraulic Laboratory de Holanda; el Laboratoire Central d'Hydraulique de Francia; y el NEYRPIC Hydraulic Laboratory en Grenoble, Francia (Quinn, 1972). En México, las instituciones que sobresalen por su trabajo con este tipo de modelos son la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México y el Instituto Plitécnico Nacional, las que cuentan con grandes laboratorios de hidráulica.

Algunos ejemplos de este tipo de trabajos son: el modelo del puerto de Zonguldak , Turquía, en 1950; el del puerto Taconite, Estados Unidos, en 1954; el del puerto de Nassau en las Bahamas (Quinn, 1972); un modelo del puerto de Astoria en Oregon, U.S.A., en 1981-82, con el que se analizó el problema de azolve debido a la explosión del volcán Santa Helena (Slotta et. al., 1983); el del muelle No. 4 en el río Red en Louisiana, U.S.A., en 1987 (Mueller, 1989); en 1986 se realizó un modelo para analizar los problemas de navegación a la entrada del puerto en la Bahía George en Tasmania (Gaggin et.al., 1986); en 1991 se hizo un modelo no distorsionado en escala de 1:75 para probar el rompeolas propuesto para la protección del puerto *Fisherman's Wharf* en la Bahía de San Fransisco, U.S.A. (Bottin, 1991).

III. OBJETIVO

Elaborar el anteproyecto de un modelo hidráulico de fondo fijo del Puerto del Sauzal de Rodríguez a fin de que sea utilizado en estudios sobre el efecto del rompeolas en la zona costera aledaña.

IV. AREA DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde al puerto del Sauzal de Rodríguez, B.C., y a la franja costera adyacente que se extiende hacia el Sur. Esta zona se ubica en la porción Norte de la Bahía de Todos Santos, la cual se extiende desde los $31^{\circ}43'$ hasta los $31^{\circ}54'$ de latitud Norte y desde los $116^{\circ}36'$ hasta los $116^{\circ}49'$ de longitud Oeste (fig. 1).

El puerto del Sauzal de Rodríguez se encuentra en un pequeño poblado del mismo nombre, más o menos a 10 Km al Norte de la ciudad de Ensenada B.C.. La franja costera en estudio es de unos 4.35 Km de longitud, medidos de la escollera Sur hacia la ciudad de Ensenada.

Las playas al sur de San Miguel son playas angostas asociadas con terrazas y acantilados marinos del Cretácico, cortadas debajo de sedimentos Terciarios (Aranda-Manteca, 1983).

Desde el Sauzal de Rodríguez hasta Punta El Morro, se localiza una playa angosta formada por la acción erosiva de las olas sobre los derrames basálticos, éstos forman cantiles y se entre cruzan con areniscas marinas y sedimentos aluviales de pie de monte del Terciario. La arena de la playa es gruesa y se encuentra mezclada con gravas (Aranda-Manteca 1983).

La configuración batimétrica de la bahía es irregular. Tiene una profundidad máxima de 50 m y como rasgo sobresaliente presenta un cañón submarino entre Punta Banda y las islas de Todos Santos con una profundidad máxima de 300 m. Además existen dos bajos: el primero es el bajo San Miguel que se ubica entre las islas y punta San Miguel con una profundidad mínima de 5.5 m; el segundo, el bajo El Sauzal, que se encuentra frente a punta El Sauzal.

V. METODOLOGIA

No existe una guía completa en la que uno se pueda basar para poder llevar a cabo el estudio de un fenómeno por medio de un modelo físico distorsionado de fondo fijo. No obstante, es posible establecer una generalidad en cuanto a la información requerida para su elaboración.

La información necesaria es, principalmente:

- Naturaleza del oleaje
- Batimetría
- Estudios de refracción
- Características físicas de las instalaciones y obras de protección portuaria
- Nivel de agua

A continuación se describe cómo se obtuvo la información, el procesamiento de la misma y su aplicación en el presente estudio. Además, se plantea la necesidad de desarrollar un modelo de prueba.

V.1 NATURALEZA DE OLEAJE

La información más importante que se requiere es:

- Direcciones de aproximación
- Altura significativa
- Periodo
- Longitud de onda
- Profundidad a la que siente fondo la onda

Esta información fué obtenida de los reportes del Programa de Información de Datos Costeros (CDIP) (Costal Data Information Program, CDIP, 1985-86), elaborados por el Instituto Oceanográfico Scripps de la Universidad de California, San Diego (University of California, San Diego, Scripps Institution of Oceanography), por cuerpo de ingenieros de la marina de los Estados Unidos (U.S. Army Corps of Engineers) y por el Departamento de Embarcaciones y Vias Acuáticas de California (California Department of Boating and Waterways). Los datos utilizados son de febrero de 1985 a diciembre de 1986, correspondientes a la estación de Mission Bay en el estado de California, U.S.A., -ubicada a los $32^{\circ}45.4'$ de latitud Norte y $117^{\circ}15.7'$ de longitud Oeste. Dicha estación se seleccionó por ser la más cercana a la zona de estudio. Los reportes del CDIP presentan datos tomados cada seis horas, y de la información publicada se tomó la correspondiente a los ángulos de aproximación y

alturas significantes. En cuanto a las direcciones de aproximación, se eligieron los datos de las bandas de período de 16-14 seg y de 8-6 seg para poder representar oleaje de períodos largos proveniente de tormentas lejanas, y oleaje de períodos cortos -que representa a aquel que se forma cerca de la zona y que predomina en el área. Para la altura significativa el CDIP presenta los datos con un sólo valor por día, y se les utilizó en su totalidad.

La información fue capturada por computadora utilizando el programa Lotus 1-2-3, y procesada de la siguiente manera:

- 1) Se agruparon los datos por mes, estación y año.
- 2) Se obtuvo la distribución de frecuencias utilizando un intervalo de clase de 5° para los ángulos de aproximación, y de .25 m para las alturas significantes.
- 3) Se graficaron histogramas de frecuencias para cada grupo, y se analizaron para obtener el comportamiento dominante.

Una vez obtenidos los ángulos de aproximación, alturas significantes y los períodos del oleaje a representar, se calcularon las longitudes de onda para cada período por medio de la fórmula

$$L_o = \frac{gT^2}{2\pi} \quad (1)$$

donde: L_o = Longitud de la onda en aguas profundas.
 g = Gravedad.
 T = Periodo.

y la profundidad a la cual siente fondo la ola según la fórmula

$$d = \frac{L_o}{2} \quad (2)$$

donde: d = Profundidad.

Esta información se utilizó primordialmente en la elaboración de los estudios de refracción y en el diseño del modelo.

V.2 BATIMETRIA

Para poder representar correctamente la zona en un modelo es necesario conocer su batimetría con el mayor detalle posible. Para esto se utilizaron tres planos diferentes: el primero fue el portulano de la bahía, elaborado por la Secretaría de Marina en 1974 (Clave PSM 1974); los otros dos, planos más detallados de la zona del Sauzal, son el del puerto y su área aledaña -elaborado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes en 1990 (De aquí en adelante se hará referencia a los planos por una clave que indica las siglas de la dependencia que lo elaboro y el año; Clave SCT 1990)-, y el que abarca toda el área del Sauzal,

Nota: Las claves arriba mencionadas son exclusivamente para su uso durante el desarrollo de éste trabajo.

-realizado por la Secretaría de Marina en la Estación de Investigación Oceanográfica de Ensenada en 1987 (Clave SM 1987). Con los últimos dos se construyó un plano detallado del área en el que se digitalizaron las isóbatas de cada uno de los planos, lo que permitió tener la información de ambos planos a la misma escala. Mediante el programa de graficado Graftool 3.3 se desarrolló el plano del área con isóbatas cada 2m.

La información batimétrica se usó para desarrollar planos de refracción, el cálculo de profundidades y en el diseño del modelo.

V.3 ESTUDIOS DE REFRACCION

Basados en la información obtenida sobre oleaje, el PSM 1974 y el plano detallado de la zona y siguiendo la metodología marcada por el Manual de Protección Costera (Shore Protection Manual, U.S. Army, 1984), se trazaron en forma manual líneas de refracción sobre el portulano en el que se marcaron isóbatas a cada 10 m de profundidad con un compás de proporciones de 10 puntas, con el fin de conocer el comportamiento general de las ortogonales.

Utilizando el programa de Wilson (1965) modificado por Ulloa-Torres (1989) se obtuvieron los planos de refracción para cada caso de oleaje considerado, y se verificó que presentaran un comportamiento similar al obtenido manualmente. Posteriormente se midió el ángulo aproximado de

las ortogonales refractadas que incidieran directamente en el área del puerto. Lo anterior se logró ampliando la zona de estudio de los planos de refracción obtenidos y se prolongó el último segmento de las ortogonales midiendo el ángulo, de este segmento, manualmente. Los estudios de refracción se elaboraron con el objeto de observar el comportamiento de los canales de energía en la zona y conocer el ángulo de incidencia del oleaje al puerto.

V.4 CARACTERISTICAS FISICAS DE LAS ESTRUCTURAS

La información que se requirió fue:

- Dimensiones
- Ubicación
- Orientación
- Pendientes

Utilizando el plano SCT 1990 proporcionado por la oficina de Puertos Mexicanos en Ensenada, se obtuvieron las dimensiones, ubicación y orientación de las estructuras de protección. Para obtener las pendientes de estas estructuras se trazaron en el plano líneas perpendiculares a ellas y sobre éstas se midió la distancia entre la corona de la estructura y la isóbata de los 0 m. Al conocer así la altura de la corona de la estructura por la información de los planos, se determinó el ángulo comprendido entre la base de la estructura y la superficie inclinada.

V.5 NIVEL DE AGUA

Otro dato de necesario para el trabajo es el Nivel de Pleamar Media Superior, proporcionado por la Sección de Mareografía del Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE). Este dato se sumó a las profundidades obtenidas de los planos batimétricos para representar un nivel que se aproxime a los mayores que normalmente se registran en el prototipo, y con ello minimizar los efectos por fricción viscosa con el fondo para que el modelo arroje resultados conservadores (CERC-85-11).

V.6 ESCALAS

A continuación se describe la forma como se puso a escala la información obtenida y las condiciones que se tuvieron en cuenta durante el proceso.

Una vez obtenidos todos los datos necesarios para la elaboración del modelo se procedió a poner a escala toda la información siguiendo los criterios establecidos en el Manual de Diseño de Obras Civiles (Comisión Federal de Electricidad, 1983). El proceso de escalado se realizó según la condición de Froude para conservar las características geométricas, cinemáticas y dinámicas del prototipo. La información que fue puesta a escala es: longitudes de onda, períodos, alturas significantes, tiempos (año, mes, día, hora), dimensión, peso y volumen de las rocas del rompeolas,

profundidades, dimensiones horizontales y verticales de las estructuras del puerto y el área total a representar.

Para poder pasar la información arriba mencionada a escala se definieron tanto la escala horizontal como la vertical en función del espacio físico con que se contaba para construir el modelo. También se tuvo cuidado en que el oleaje generado en el modelo no fuera demasiado pequeño porque entonces no se habría podido registrar por medio de los sensores. Ya que las instalaciones de la Escuela de Ingeniería de la U.A.B.C. en Ensenada no tiene las dimensiones necesarias, los cálculos se hicieron para la cuba de ondas del laboratorio de hidráulica de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes en el Distrito Federal, cuyas dimensiones son 50 m x 25 m. Una vez determinadas las escalas de longitud, se calcularon las escalas de pendiente, distorsión, longitud de onda, celeridad, período, tiempos, altura de oleaje, velocidades orbitales, volúmenes, áreas transversales y en planta.

V.7 MODELO DE PRUEBA

Dentro de la metodología fue necesario construir en la cuba de ondas de la Escuela de Ingeniería de la U.A.B.C. un segmento del modelo propuesto para corroborar que éste tuviese un comportamiento similar al prototipo, y por tanto, que los datos con los que fue alimentado fueran correctos.

Todo lo referente a este modelo de prueba se ha incluido en un capítulo aparte (Modelo de Prueba).

VI. RESULTADOS

VI.1 Naturaleza de Oleaje:

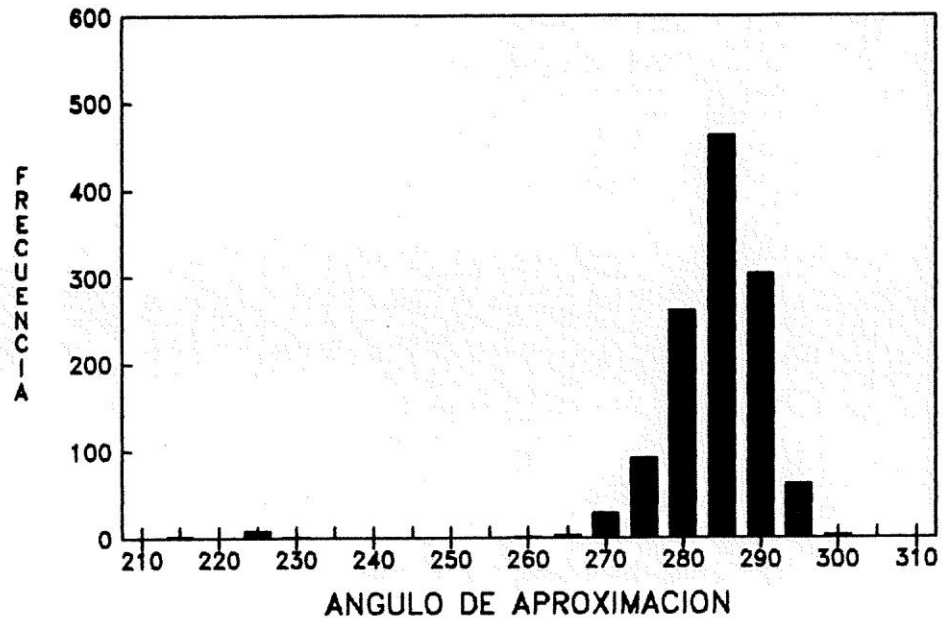
A continuación se presentan las estadísticas de la dirección de aproximación del oleaje en forma de histogramas de frecuencia, para las bandas de periodo 6-8 y 14-16 seg de los años de 1985 y 1986. Las figuras 4 y 5 muestran la frecuencia anual de las direcciones de aproximación del oleaje a la costa, en ángulos con respecto al Norte, y la figura 6 muestra las alturas significantes en metros.

Las figuras 4a y 4b representan las frecuencias anuales de la banda de periodo 8-6 seg para los años 1985 y 1986, respectivamente. En éstas se observa un comportamiento muy marcado donde la mayor frecuencia para ambos años corresponde a los 285° , luego le siguen los 290° y 280° , respectivamente.

Las figuras 5a y 5b representan las frecuencias anuales de la banda de periodo 16-14 seg para los años 1985 y 1986, respectivamente. Las mayores frecuencias están entre los 265° y 285° . Para 1985 la mayor frecuencia está en los 265° , y para 1986 se encuentra en los 280° .

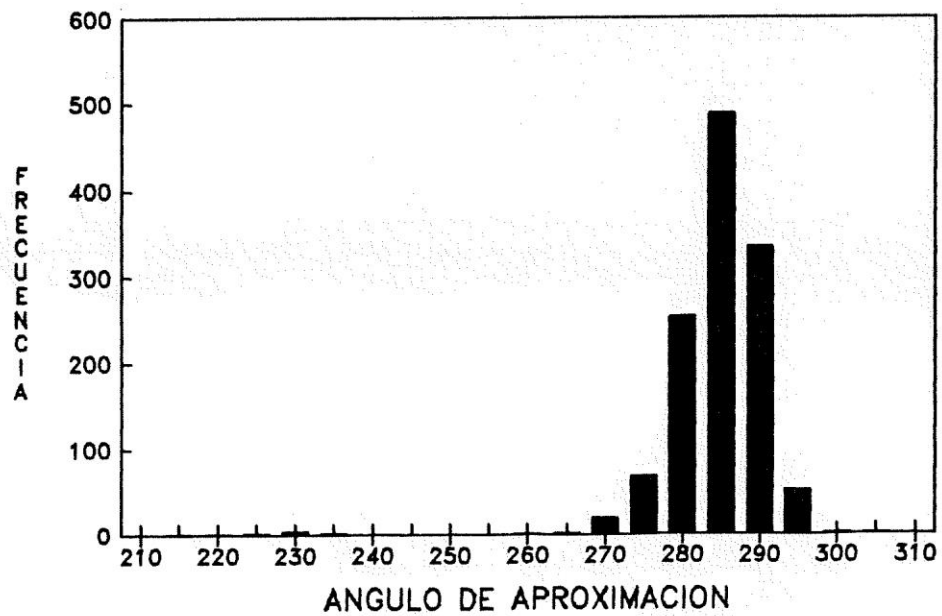
De la misma forma se analizaron también los datos de oleaje por estaciones (invierno, primavera, verano y otoño). La tabla I condensa los datos obtenidos de este análisis y da el valor de los ángulos elegidos para la construcción del modelo por bandas de periodo.

DIRECCION OLEAJE PERIODO 8-6s
ANUAL 1985



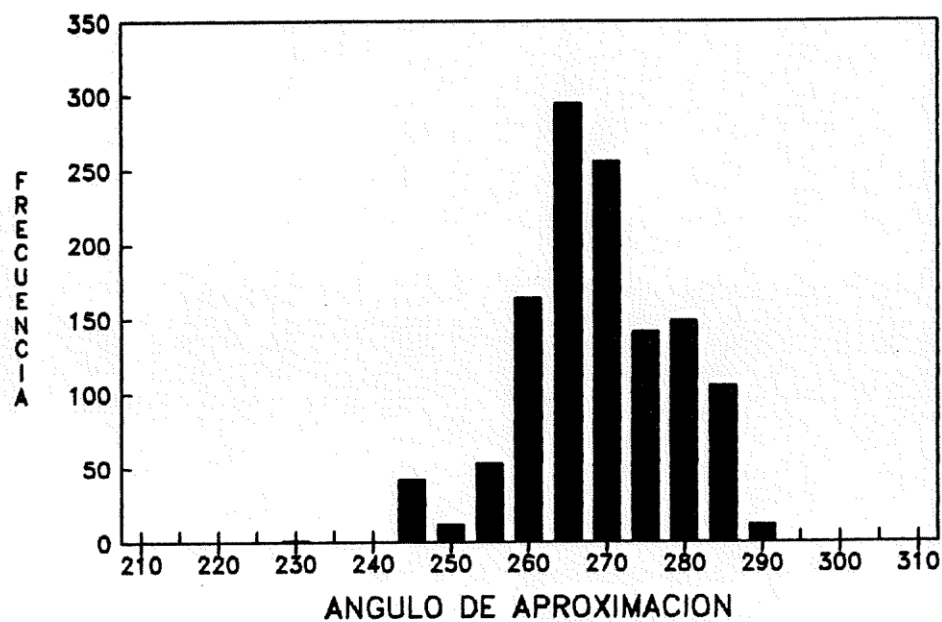
a)

DIRECCION OLEAJE PERIODO 8-6s
ANUAL 1986



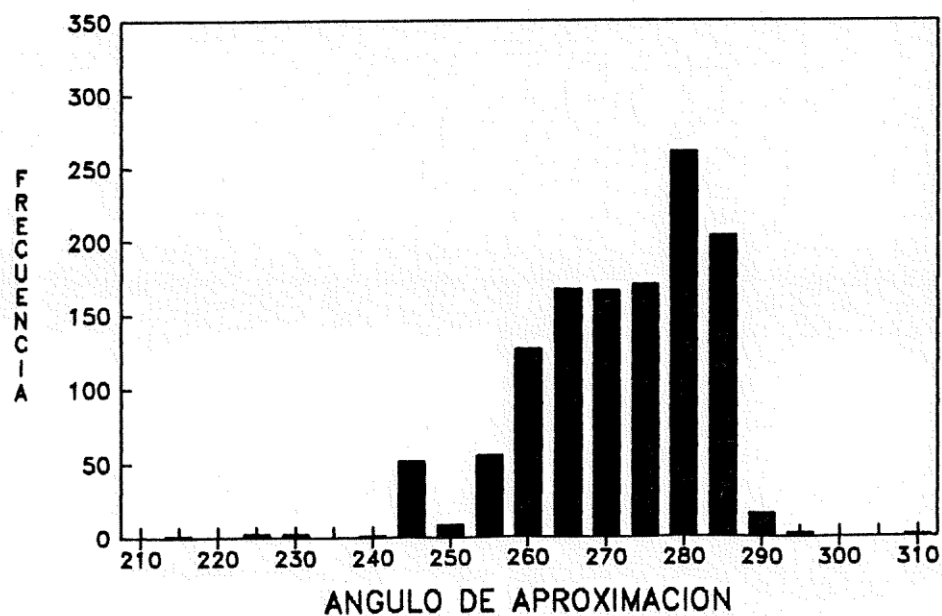
b)

Figura 4.- Gráficas anuales para el oleaje de periodo 8-6 seg. a)1985, b)1986.



a)

DIRECCION OLEAJE PERIODO 16-14 S
ANUAL 1986



b)

Figura 5.- Gráficas anuales para el oleaje de periodo 16-14 seg. a) 1985, b) 1986.

Las figuras 6a y 6b representan las frecuencias anuales de las alturas significantes para los años de 1985 y 1986, respectivamente. En las dos el comportamiento es el mismo; la mayor frecuencia corresponde a 1 m seguido de 0.75 m. Para la figura 6a la máxima altura registrada fue de 3.75 m, mientras que para la figura 6b fue de 4.75 m. La tabla II presenta la información condensada sobre las alturas significantes.

La tabla III presenta las longitudes de onda para cada periodo elegido así como la profundidad a la que sienten fondo las ondas.

VI.2 Batimetría:

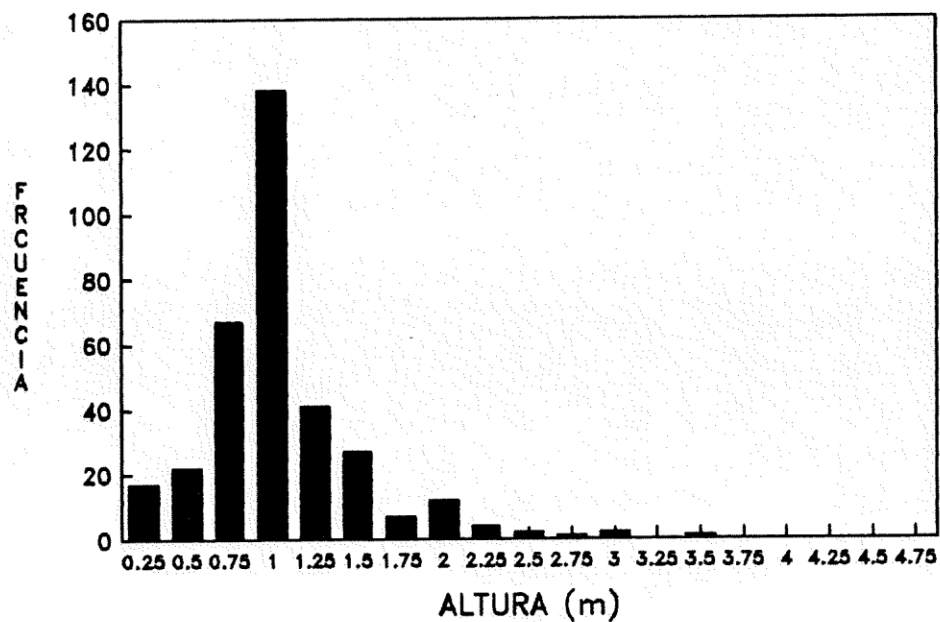
La figura 7 representa el plano batimétrico detallado del área de estudio. Las isolíneas están marcadas cada dos metros a partir de la cota de cero metros, la cual es representada por la línea de costa, hasta la isóbata de los -16 m. Se observa que las isolíneas tienen un comportamiento similar al que presenta la línea de costa excepto en la zona aledaña al puerto del Sauzal donde se ven claramente modificadas. En la base del rompeolas se aprecia un bajo en forma lobulada que modifica el patrón de las isóbatas hasta cerca de los -8 m. Frente a la escollera y a la entrada del canal de acceso al puerto las isolíneas tienen un comportamiento más bien errático en donde destaca una acumulación de sedimento sobre el canal frente a la punta del rompeolas.

Tabla I: Periodos y azimutes de aproximación del oleaje.

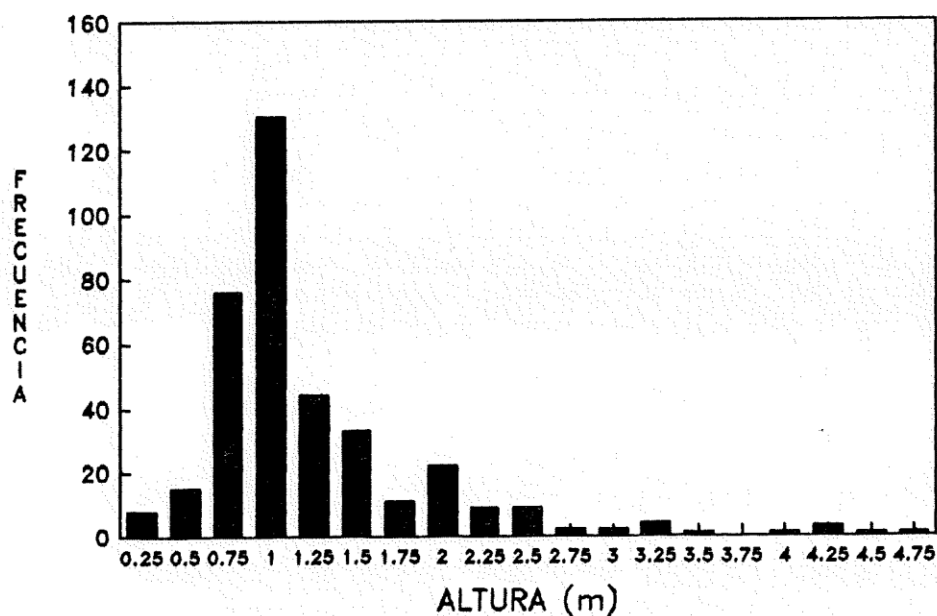
PERIODO	ESTACION/AÑO	ANGULO DE APROXIMACION	ANGULO A UTILIZAR
8-6 seg	INVIERNO 1985	285°	285°
	PRIM-VER 1985	285°	
	OTO-INV 85/86	285°	
	PRIM-VER 1986	285°	
	OTOÑO 1986	285°	
16-14 seg	INVIERNO 1985	280°	280° 265°
	PRIM-VER 1985	265°	
	OTO-INV 85/86	280°	
	PRIM-VER 1986	265°	
	OTOÑO 1986	280°	

Tabla II: Alturas significantes (Medidas a 10 m de profundidad).

ESTACION/AÑO	ALTURA SIGNIFICANTE FRECUENCIA MAYOR (m)
INVIERNO 1985	1
PRIM-VER 1985	1
OTO-INV 85/86	1
PRIM-VER 1986	1
OTOÑO 1986	1



a)



b)

Figura 6.- Gráficas anuales, alturas significantes para los años de 1985 y 1986. a)1985, b)1986.

VI.3 Refracción:

Con los resultados de oleaje obtenidos se elaboró la tabla IV que muestra los diferentes casos de oleaje que se consideran en este trabajo, y que son los que se utilizaron para hacer los planos de refracción mostrados de la figura 8 a la 13. Los cruces de las ortogonales en los planos son debido a que se utilizó la batimetría de la bahía sin suavizarse.

En general, las 6 figuras muestran que en el área de estudio las ortogonales se separan. Ello indica que no hay una tendencia a concentrar energía en algún punto de la zona. En particular, para los casos 1 y 2 (fig. 8 y 9) se observa que la batimetría tiene menos influencia que en los otros casos en que existen pocos rayos cuya dirección haya sido desviada en forma abrupta hacia la costa. Además, se nota por la separación de las ortogonales, que para estos dos casos es mayor la dispersión de energía. En los otros dos casos (fig. 10 a la 13) se observa que es importante la influencia de la batimetría sobre la dirección de los rayos. Los casos 3 y 4 son importantes ya que además de ser los más energéticos son los que presentan un mayor número de ortogonales en dirección a la zona de estudio. El caso 3b es el único que presenta un punto dentro del área de estudio en el que se unen dos ortogonales, lo que implica una alta concentración de energía

Tabla III: Periodo, longitud de onda y profundidad a la que sienten fondo.

PERIODO	LONGITUD DE ONDA	PROF DE FONDO
6 seg	99.8 m	49.9 m
8 seg	112.3 m	56.2 m
14 swg	305.7 m	152.9 m
16 seg	399.3 m	199.7 m

Tabla IV: Casos de oleaje considerados.

CASO	PERIODO (seg)	ANGULO DE APROXIMACION A LA BAHIA	LONGITUD DE ONDA (m)
1	6	285°	99.8
2	8	285°	112.3
3a	14	280°	305.7
3b	14	265°	305.7
4a	16	280°	399.3
4b	16	265°	399.3

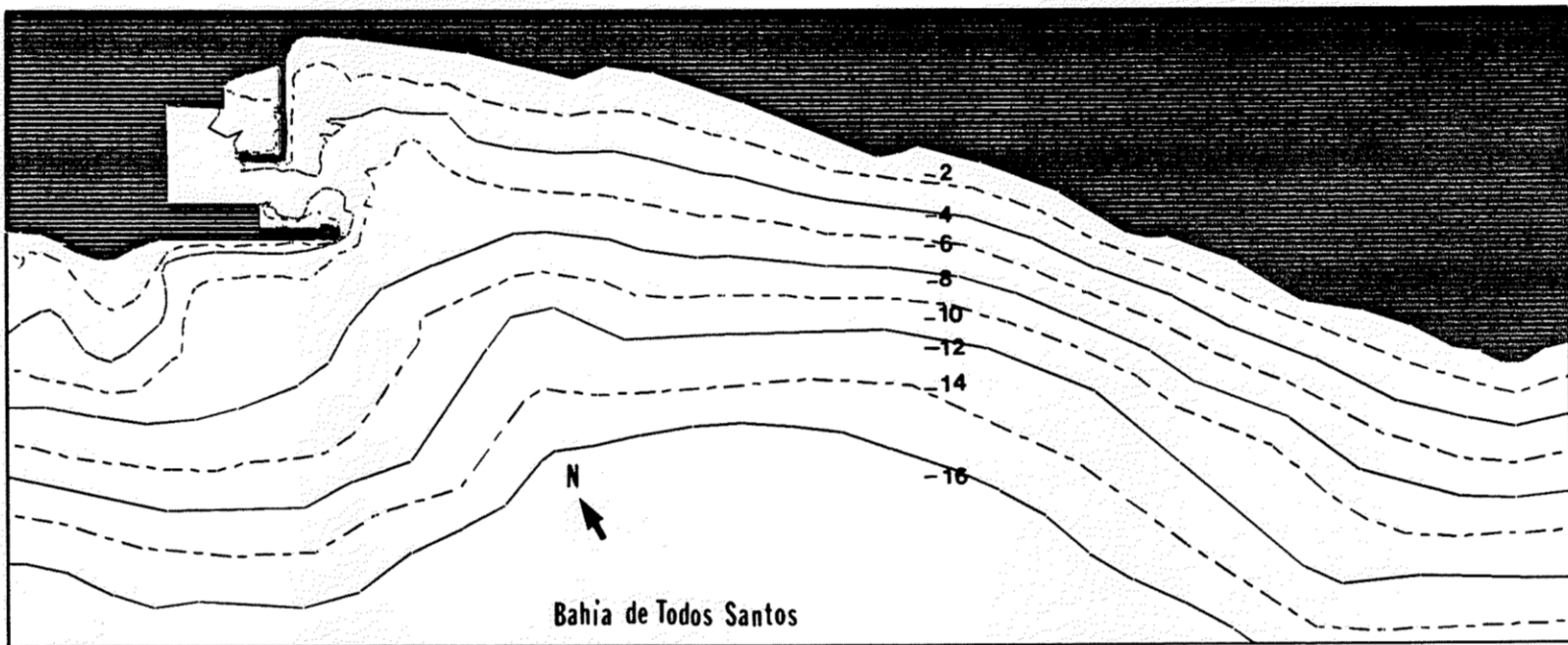


Figura 7.- Plano batimétrico de la zona de estudio.
Isolíneas cada 2m.

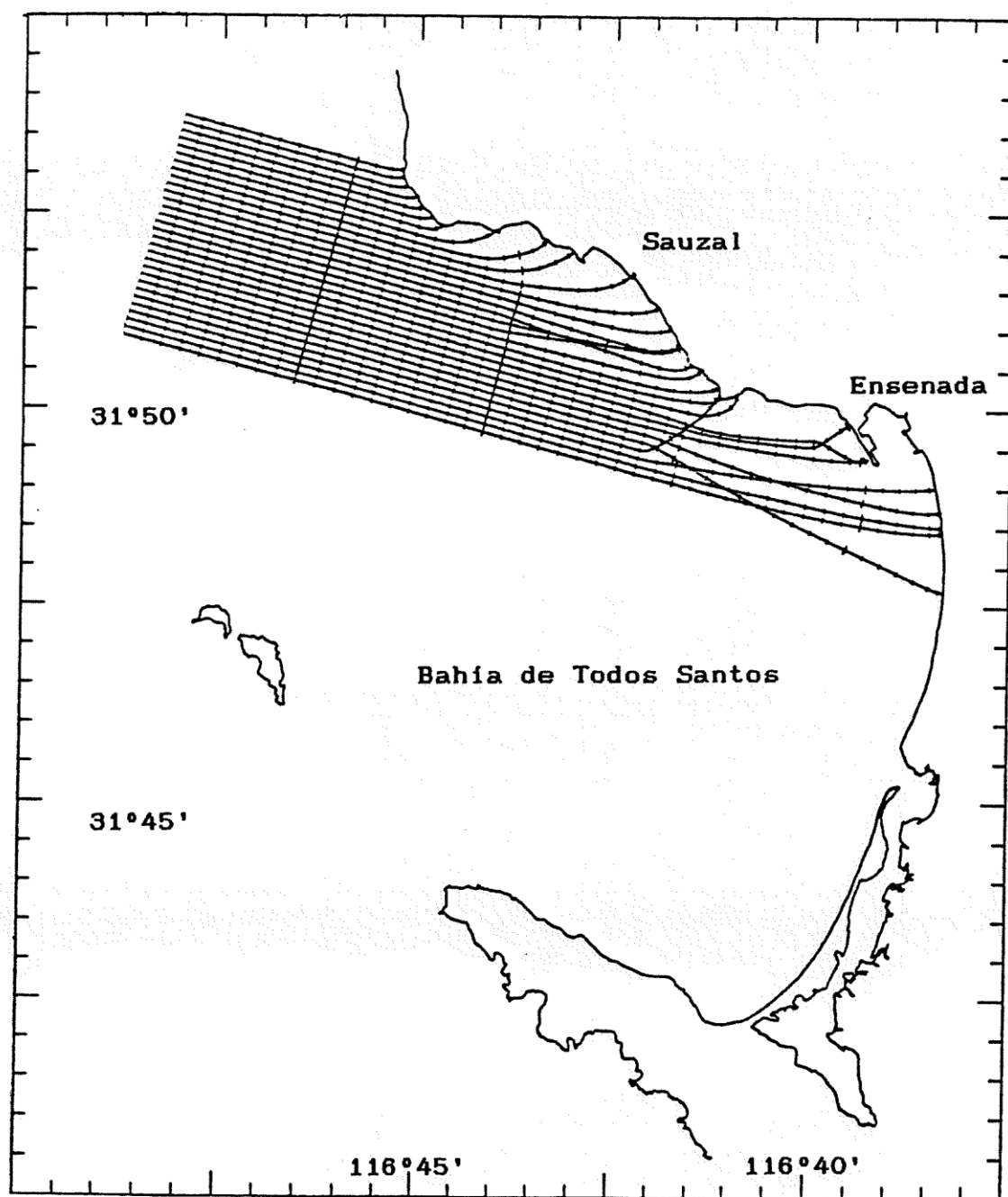


Figura 8.- Plano de refracción para oleaje de periodo de 6 seg y ángulo de aproximación de 285° .

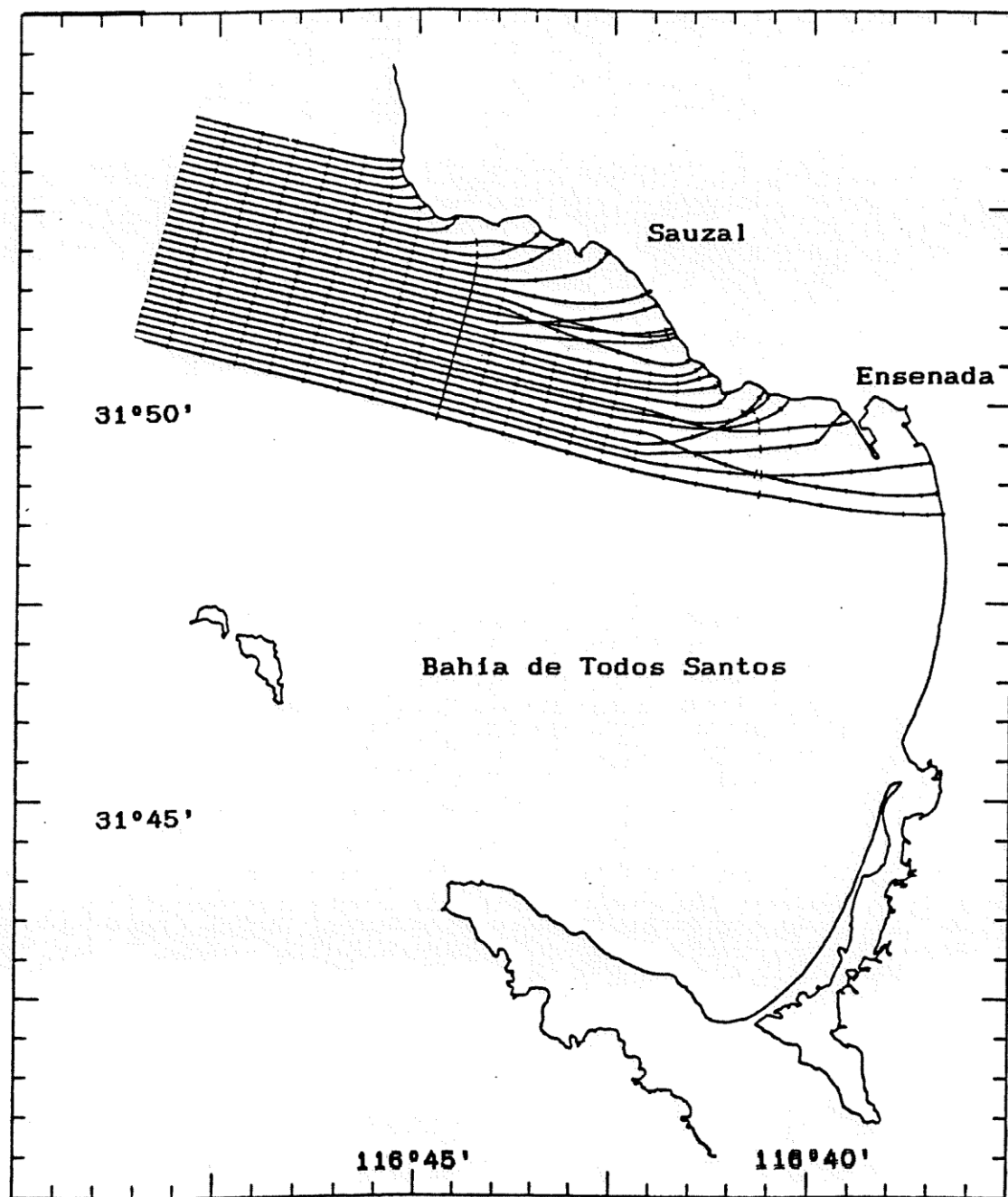


Figura 9.- Plano de refracción para oleaje de periodo de 8 seg y ángulo de aproximación de 285°.

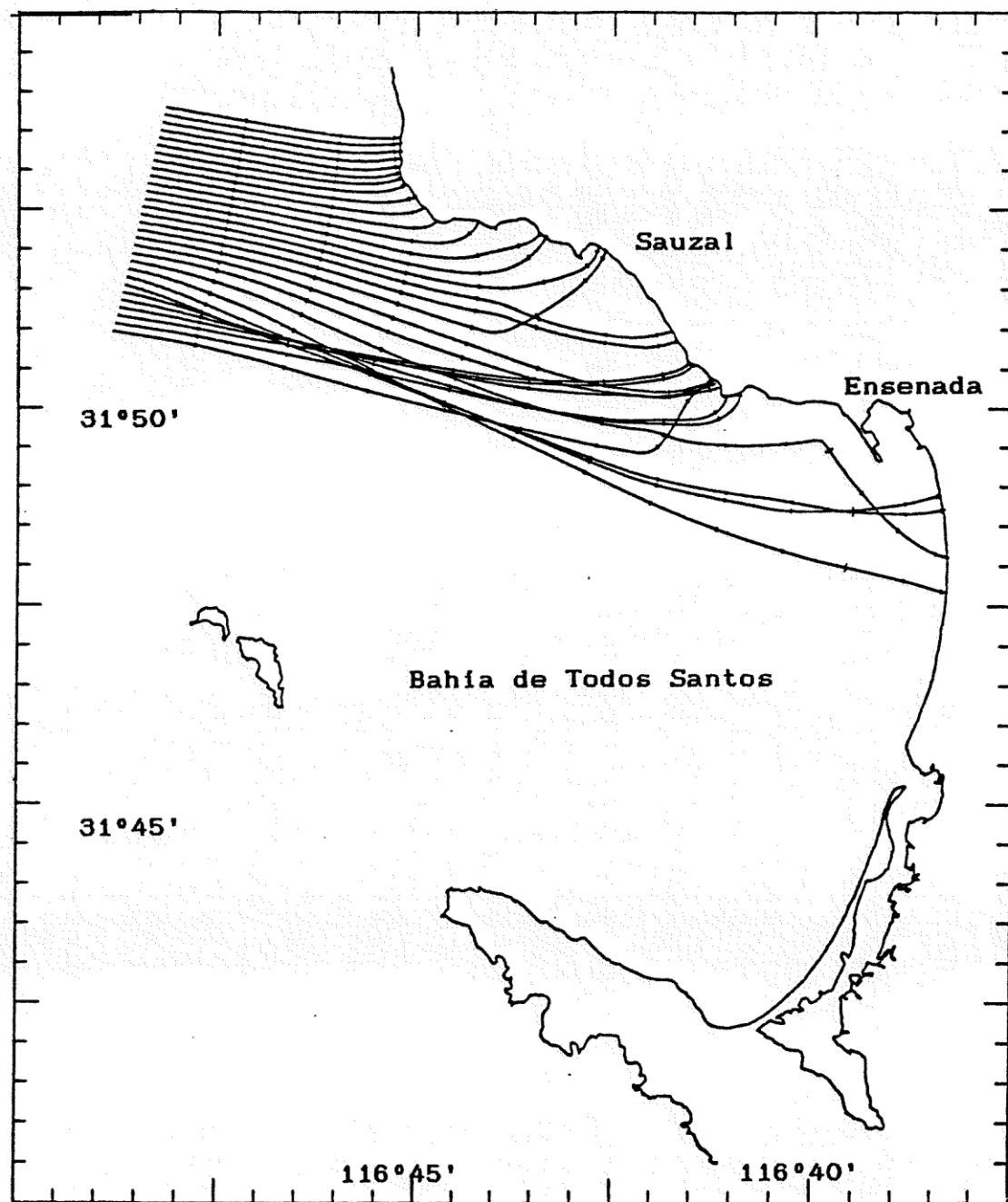


Figura 10.- Plano de refracción para oleaje de periodo de 14 seg y ángulo de aproximación de 280°.

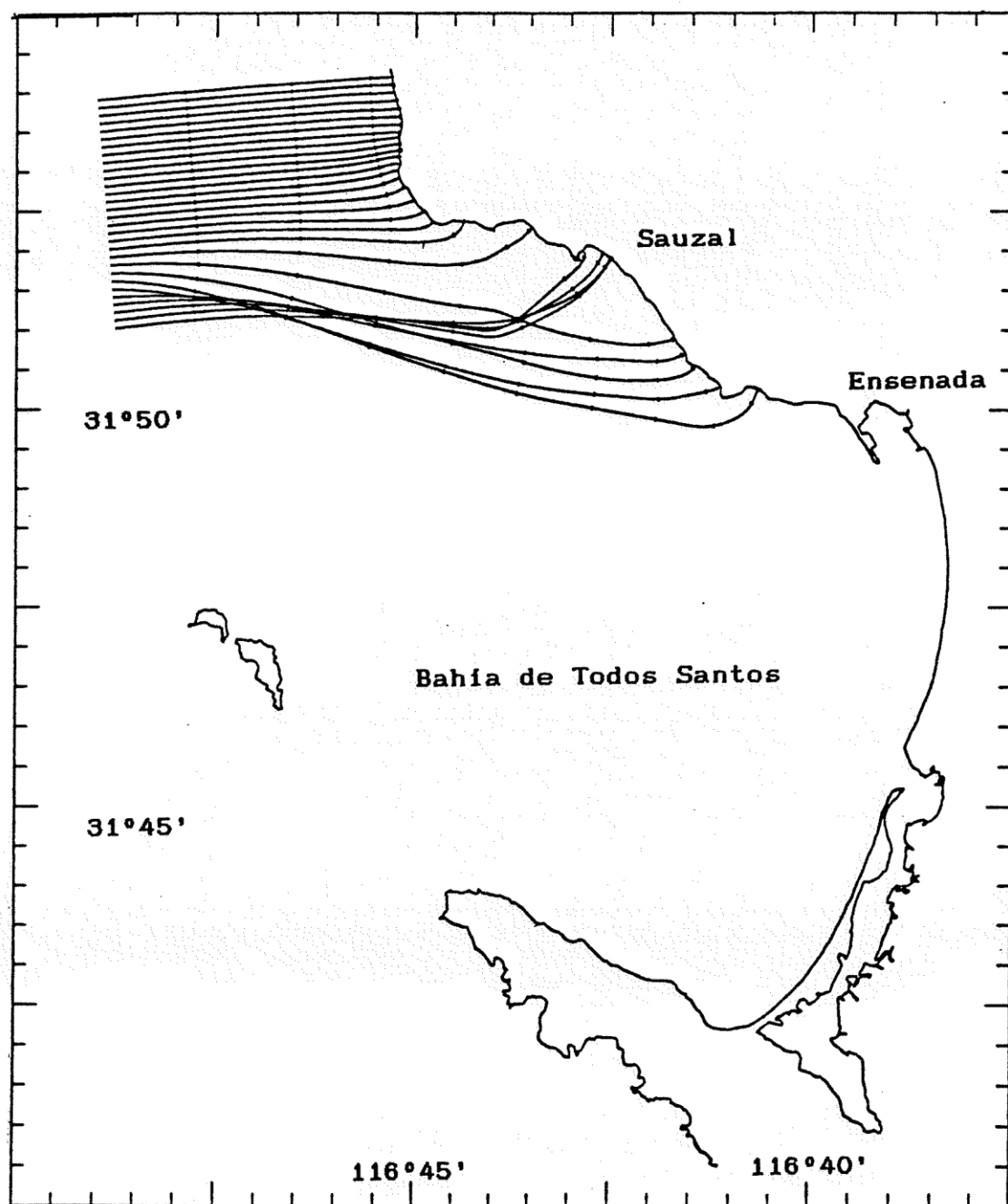


Figura 11.- Plano de refracción para oleaje de periodo de 14 seg y ángulo de aproximación de 265°.

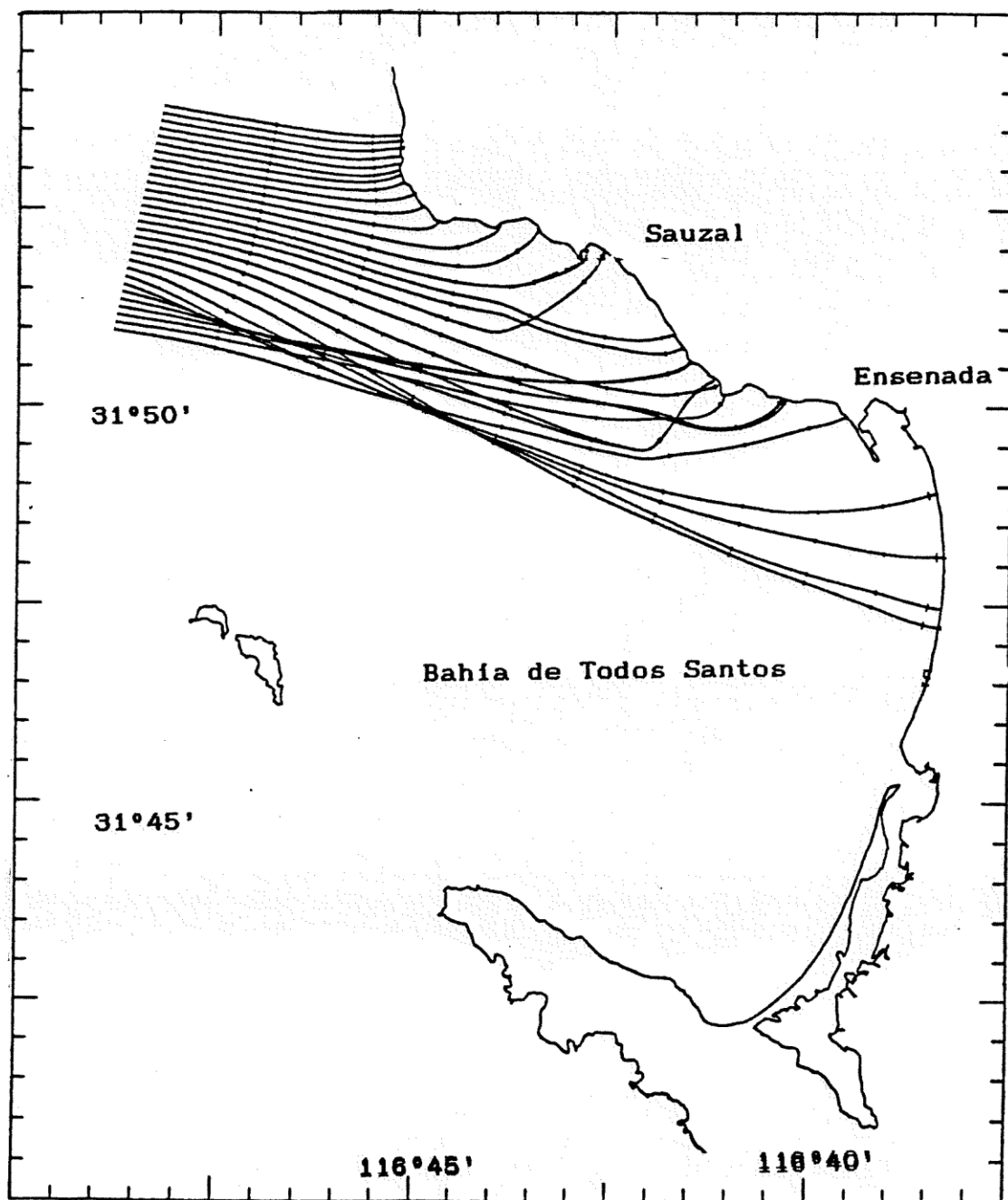


Figura 12.- Plano de refracción para oleaje de periodo de 16 seg y ángulo de aproximación de 280° .

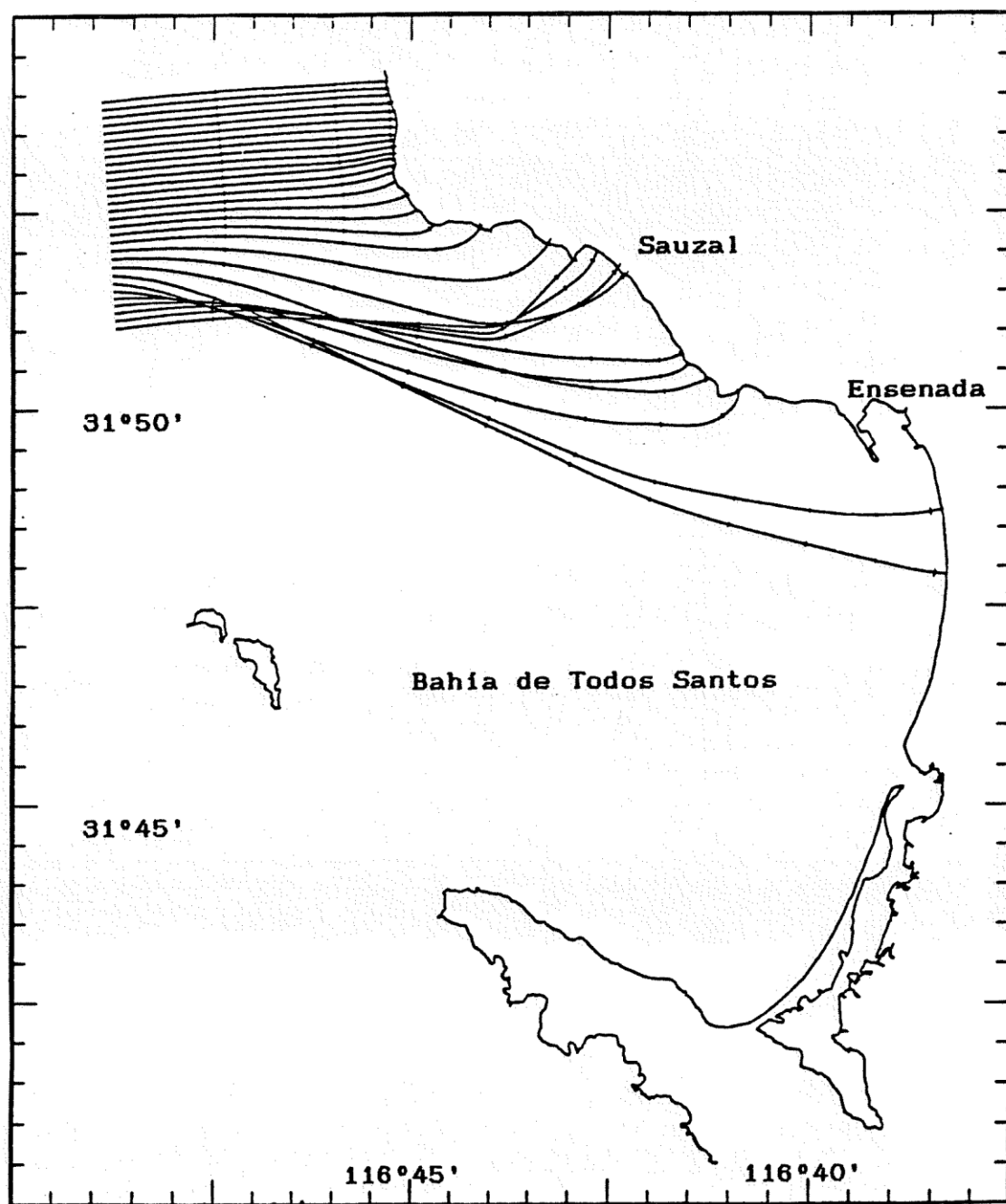


Figura 13.- Plano de refracción para oleaje de periodo de 16 seg y ángulo de aproximación de 265° .

en ese lugar. La tabla V muestra los ángulos de aproximación del oleaje, de los casos considerados, al rompeolas.

VI.4 Características Físicas de las Estructuras:

En la figura 14 se presenta la ubicación de las estructuras portuarias y se marcan las secciones en las obras de protección que se distinguen por presentar diferentes orientaciones. En la tabla VI se proporcionan la orientación y la longitud de las estructuras: la orientación está dada en grados con respecto al Norte, y la longitud en metros.

Las figuras 15 y 16 muestran los transectos en que se midieron las pendientes del rompeolas y de la escollera respectivamente; aparecen numerados. En la tabla VII se da el valor de las pendientes. Para cada transecto se dan dos valores; el valor "a" representa la pendiente en la cara externa de la estructura y el "b" en la cara interna.

VI.5 Nivel de Agua:

La tabla VIII presenta la información general de la marea en la Bahía de Todos Santos, proporcionada por la sección de Mareografía del CICESE. La tabla IX da los valores de profundidad corregidos con el Nivel de Pleamar Media Superior (NPMS). Esta corrección se hizo sumando a la profundidad 0.78 m que es el valor del NPMS.

VI.6 Escalas:

Para poder representar el área en las instalaciones del

laboratorio de hidráulica de la S.C.T., y para que la altura del oleaje fuera lo suficientemente grande como para poder ser registrada por los sensores, se determinaron las siguientes escalas:

Escala horizontal	1:94
Escala vertical	1:37.5

en donde la distorsión (Ω) entre las escalas es de 2.5.

Con esta información se calcularon todas las escalas necesarias (tabla X).

Tabla V.- Angulos de aproximación del
oleaje al rompeolas.

CASO	ANGULO DE APROXIMACION AL ROMPEOLAS
1	62°
2	75°
3a	91°
3b	84°
4a	77°
4b	79°

Nota.- Los ángulos están medidos de la base del rompeolas hacia la ortogonal

Tabla VI: Longitud y orientación de las estructuras portuarias. (Orientación en grados con respecto al norte).

ESTRUCTURA	SECCION	ORIENTACION	LONGITUD (m)
ROMPEOLAS	A	139.5°	109.0
	B	128.0°	520.0
ESCOLLERA	C	38.1°	266.0
	D	128.5°	112.5
MUELLE DE DESCARGA		130.0°	164.0
MUELLE DE PESCA		38.0°	255.0
MUELLE DE AVITUALLAMIENTO		128.0°	249.0

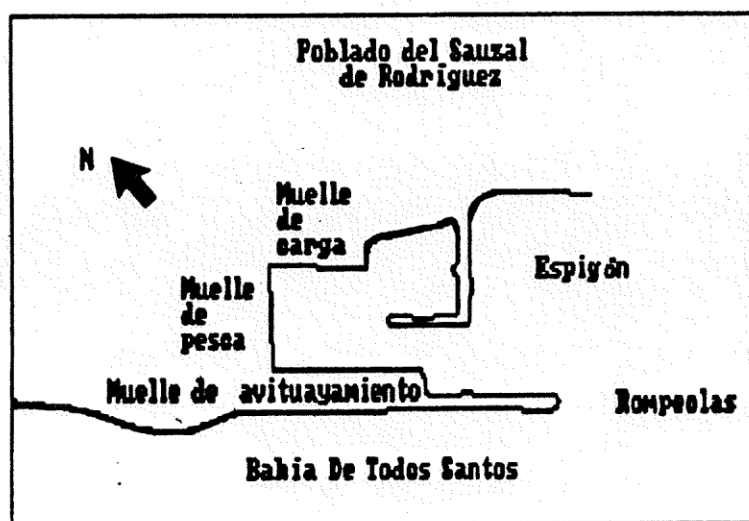


Figura 14.- Plano de las estructuras portuarias del puerto del Sauzal de Rodríguez.

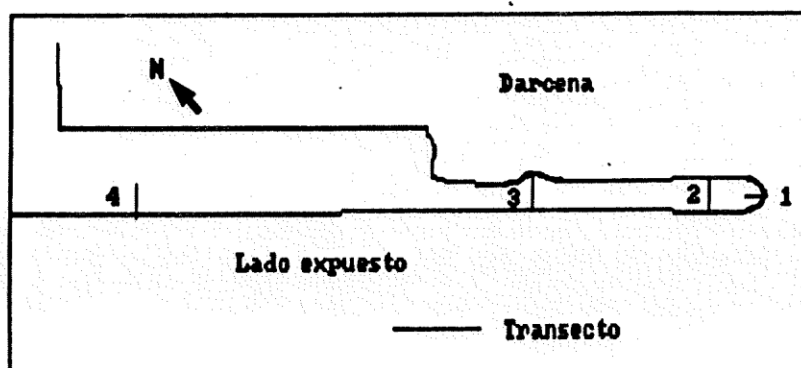


Figura 15.- Posición de los transectos en el rompeolas.

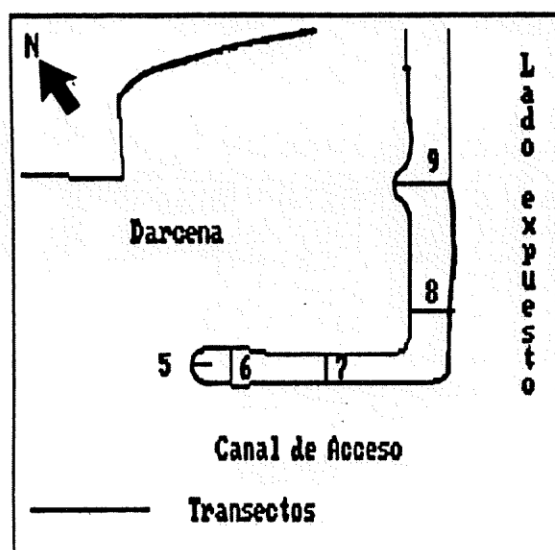


Figura 16.- Posición de los transectos en el espigón.

Tabla VII: Pendientes de las obras de protección.

	TRANSECTO		PENDIENTE
ROMPEOLAS	1	a	41.80°
	2	a	32.58°
		b	26.85°
	3	a	18.55°
		b	37.50°
	4	a	27.5°
ESCOLLERA	5	a	26.39°
	6	a	28.08°
		b	28.07°
	7	a	46.66°
		b	20.35°
	8	a	22.40°
		b	20.36°
	9	a	32.23°
		b	11.54°

Nota: a-pendiente en la cara externa. b-pendiente en la cara interna. El ángulo es el comprendido entre la base y la hipotenusa.

Tabla VIII.- Mareas en la Bahía de Todos Santos.

Nivel de Pleamarmedia Superior	0.78 m
Nivel de Pleamarmedia	0.58 m
Nivel Medio del Mar	0.0 m
Nivel de Baja Mar Media	-0.57 m
Nivel de Baja Mar Media Inferior	-0.81 m

Tabla IX: Valores de profundidad corregidos.

PROFUNDIDAD CON RESPECTO AL NMM (m)	PROFUNDIDAD CORREGIDA (m)
-2	-2.78
-4	-4.78
-6	-6.78
-8	-8.78
-10	-10.78
-12	-12.78
-14	-14.78
-16	-16.78

Tabla X: Escalas (En función de la escala horizontal y vertical, y de la condición de Froude).

Longitud horizontal, Lhe	Lhe	1:94
Longitud vertical, Lve	Lve	1:37.5
Pendientes, Se	Lve/Lhe	1:0.4
Longitud de la onda, le	Lve	1:37.5
Periodo, Te	$(Lve)^{1/2}$	1:6.1
Tiempos, te	$(Lve)^{1/2}$	1:6.1
Altura del oleaje, He	Lve	1:37.5
Volumenes, Ve	$Lhe^2 Lve$	1:331350
Areas en planta, Ah	Lhe^2	1:8836
Areas de sec. trans., Av	LheLve	1:3525

(Tomado de Comisión Federal de Electricidad, 1983.)

Así, las dimensiones totales a representar son (tabla XI):

Tabla XI: Dimensiones totales a modelar.

Longitud total	4350 m
Ancho total	1650 m
Area total	7177500 m ²

La siguiente tabla (tabla XII) muestra los valores de longitud, área, oleaje, profundidades y estructuras, del prototipo a escala:

Tabla XII.- Valores del prototipo a escala.

Longitud total	46.3 m
Ancho total	17.6 m
Area total	812.3 m ²

OLEAJE

CASO	PERIODO (seg)	ANGULO DE APROXIMACION	LONGITUD DE ONDA (m)
1	0.98	62°	2.66
2	1.31	75°	2.99
3a	2.29	91°	8.15
3b	2.29	84°	8.15
4a	2.62	77°	10.64
4b	2.62	79°	10.64

ALTURA SIGNIFICANTE

0.026 m

VALORES DE PROFUNDIDAD

ISOBATA (m)	PROFUNDIDAD EN EL MODELO (m)
0	-0.020
-2	-0.074
-4	-0.127
-6	-0.180
-8	-0.237
-10	-0.287
-12	-0.340
-14	-0.394
-16	-0.447

ESTRUCTURAS

<u>ESTRUCTURA</u>	<u>SECCION</u>	<u>LONGITUD (m)</u>
ROMPEOLAS	A	1.16
	B	5.53
ESCOLLERA	C	2.83
	D	1.19
MUELLE DE DESCARGA		1.74
MUELLE DE PESCA		2.71
MUELLE DE AVITUALLAMIENTO		2.65

VII. MODELO DE PRUEBA

VII.1.- DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL MODELO

Diseño

Lo primero que se requirió para diseñar el modelo fue conocer con exactitud el área a representar y el fenómeno a observar. En este caso particular, el modelo sólo es una porción del propuesto en esta tesis. Como el fenómeno que se quiere estudiar es el de la difracción del oleaje provocada por la presencia del rompeolas, el área comprende al rompeolas y a una zona donde se pueda generar el oleaje, así como a otra en donde se observe con claridad el oleaje ya difractado (fig. 17).

Una vez conocidas las dimensiones del área a representar y las de la cuba de ondas de la Escuela de Ingeniería, se determinaron las escalas horizontal y vertical. Debido a que la cuba de ondas es muy pequeña para representar modelos marítimos, fue necesario diseñar un modelo distorsionado para que las dimensiones verticales del oleaje tuvieran el tamaño suficiente para ser medidas con facilidad y evitar los problemas de tensión superficial que pudiesen alterar al oleaje. (Tabla XIII)

Con los datos anteriores y utilizando las tablas IV y IX se determinaron las características del oleaje a representar (tabla XIV). Y al conocer el ángulo con el que llegan las ortogonales al área del puerto, se calculó el ángulo de incidencia del oleaje dentro del modelo. Ya que el propósito de este modelo es observar si el modelo propuesto tiene las características adecuadas, sólo se determinó el ángulo de incidencia del oleaje para los casos 3b y 4a.

Construcción

La metodología seguida durante la construcción fue la siguiente:

I.- Se construyó una malla de cuerda delgada con 1m de separación entre cada línea. La separación fue realizada arbitrariamente tomando en cuenta que serviría como auxiliar en el siguiente paso (II) de la construcción.

II.- Se tazonaron con crayones las isóbatas los contornos del puerto y de la línea de costa en el piso de la cuba de ondas. La malla (I) sirvió de guía para poder trazar las líneas.

III.- Se calcularon todas las dimensiones verticales (fig. 18) para poder construir flejes de lámina de aluminio de diferentes alturas, los que fueron utilizados como guía para así poderle dar la pendiente adecuada al modelo. Los flejes fueron colocados sobre el fondo de la cuba siguiendo el contorno de las líneas trazadas en el inciso II.

Tabla XIII.- Dimensiones Prototipo-Modelo
y Escalas x-y.

Prototipo	Modelo
1753 m x 1450 m	8.5 m x 7 m
Escala Horizontal	1 : 170
Escala Vertical	1 : 50
Distorsión	$\Omega = 3.0$

Tabla XIV.- Características del oleaje
a representar

PROTOTIPO	MODELO
-----------	--------

Caso 3b

le	305.7m	1.8m
Te	14Seg	2.0Seg
He	1m	0.02m
ANGULO		91°

CASO 4a

le	399.3m	2.35m
Te	16Seg	2.3Seg
He	1m	0.02m
Angulo		77°

Nota: Los ángulos están dados con respecto al rompeolas.

IV.- Una vez colocados los flejes se procedió a rellenar, con tierra y piedras, los espacios entre ellos hasta alcanzar una altura que fuera menor a la de los flejes por una diferencia aproximada de 3cm.

V.- Se apisonó el material de relleno y se cubrió con una fina capa de arena para darle un acabado parejo y se volvió a apisonar.

VI.- Posteriormente, se cubrió todo con una capa delgada de concreto a una relación de 1:4 de cemento por arena. Esta capa se colocó hasta llegar a la altura de los flejes y se procuró que el terminado fuera lo más liso posible.

VII.- Se le dió forma al rompeolas y al espigón; luego se rellenó toda la zona que representa la línea de costa con grava hasta una altura de aproximadamente 10 cm sobre el nivel del último fleje.

VIII.- Posteriormente se pintó el fondo de color claro y las isolíneas de color fuerte para que contrastaran y se pudieran observar más fácilmente los fenómenos a estudiar.

IX.- Se tapó con lonas la mayor parte del área de trabajo a fin de protegerla del viento.

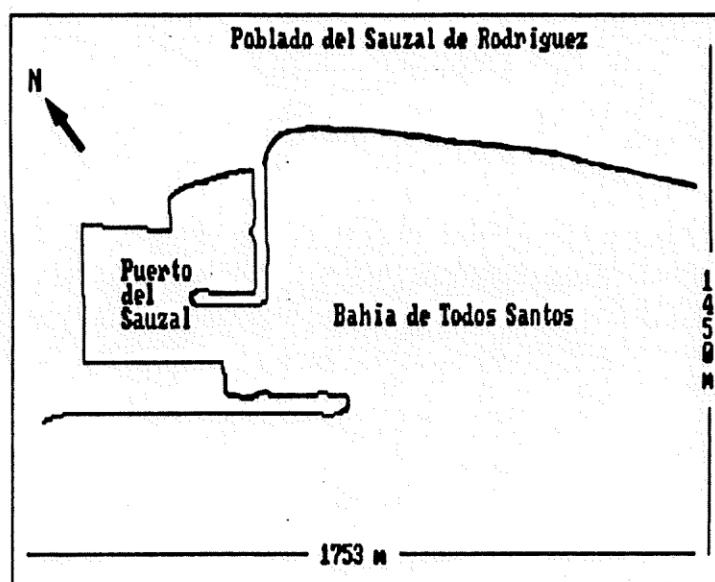


Figura 17.- Area a representar.

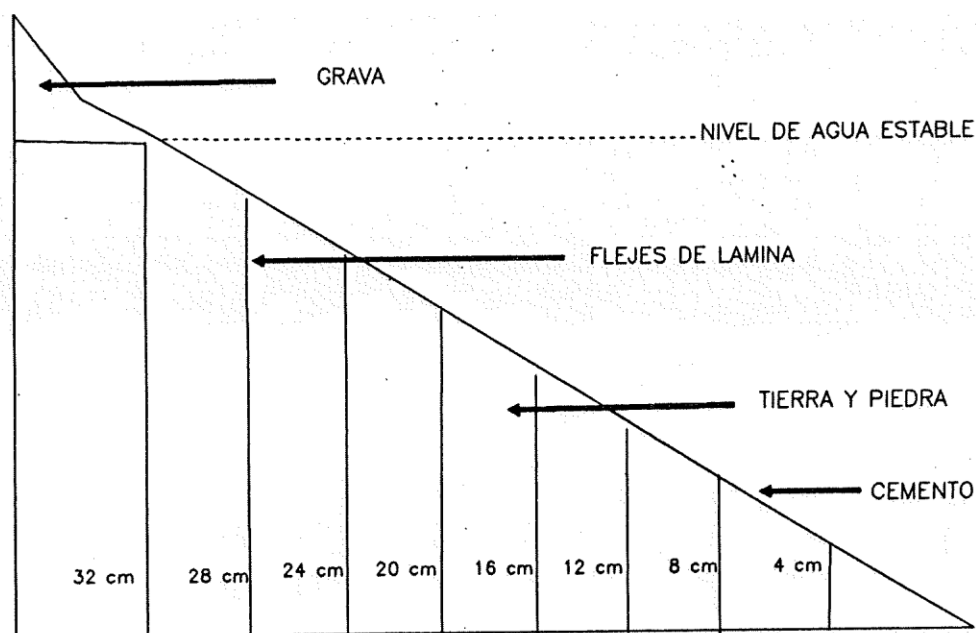


Figura 18.- Diagrama de las dimensiones verticales.

VII.2.- ELIMINACION DE REFLECCION

Una vez terminada la construcción del modelo se procedió a reducir al mínimo posible todos los problemas de reflexión producidos por las fronteras (paredes, rompeolas, línea de costa). Para esto se probaron varios disipadores de energía, de los que al final quedaron dos tipos:

a.- Disipador de Grava

La grava se colocó simulando la línea de costa y las estructuras de protección. Este material tiene la propiedad de dejar muchos espacios vacíos por los que se disipa la energía del oleaje que choca contra él; además es factible de colocarlo siguiendo la forma deseada. El material se colocó suelto sin ningún elemento que lo consolidara ya que esto provocaría que perdiese porosidad y con ello, también se perderían sus cualidades de disipador.

Se utilizó grava gruesa, principalmente, y se colocó una capa de grava más delgada, con una pendiente casi nula, en la base del rompeolas y de la línea de costa.

b.- Tablas Oradadas

Se construyeron disipadores de madera formados por dos tablas paralelas (fig. 19 a) separadas $\approx 15\text{cm}$ entre sí, oradadas cada $\approx 10\text{cm}$ con orificios de $\approx 3\text{cm}$ de diámetro. Los orificios de una tabla están desfasados una posición con respecto a los de la otra (fig. 19 b). Estos disipadores se colocaron cubriendo todas las paredes.

VII.3.- CALIBRACIONES

Calibración del Generador de Oleaje

La calibración consistió en establecer una relación matemática entre la lectura del tacómetro del generador y el periodo de oscilación de la paleta del generador de oleaje.

Para lograr esto, se dejó fija la lectura del tacómetro y se tomó el tiempo que tarda la paleta en realizar 30 movimientos completos. Esto se hizo por duplicado y se sacó un promedio de ambas lecturas. Todo con el fin de obtener las lecturas de 50 rpm hasta 200 rpm con incrementos de 10rpm.

Con los datos generados se obtuvo el periodo (T) de oscilación correspondiente a cada lectura del tacómetro; y se graficó T vs rpm y se obtuvo una gráfica de tipo hiperbólico (fig. 20). Se encontró la relación matemática entre la lectura del tacómetro y la oscilación de la paleta mediante el ajuste de la curva T vs 1/rpm por el método de cuadrados mínimos, y se consiguió la siguiente ecuación para la curva de la gráfica 20,

$$f(x) = \frac{244.3082}{x} - 0.22707 \quad (5)$$

donde

$f(x)$ = Revoluciones por minuto en el tacómetro.

x = Periodo de la paleta y x representa el periodo del oleaje a representar.

Para observar el efecto del agua sobre la paleta se realizó dicho ejercicio con agua y sin agua. No se observó un cambio notorio entre los dos casos por lo que se intuyó que con cambios pequeños en el nivel del agua el cambio sería despreciable.

Posteriormente se realizaron pruebas inclinando la pala del generador hasta encontrar la posición en la cual se produce una onda con la altura requerida.

Adaptación y Calibración de los sensores

Los sensores utilizados funcionan de manera similar a una resistencia variable, es decir, que al subir y bajar el nivel de agua se va cerrando a diferentes alturas el circuito eléctrico para lograr que la corriente tenga que recorrer distintas distancias, y por tanto, que tenga diferentes resistencias. Cuando el nivel del agua baja, al dejar la intensidad de la corriente constante, la resistencia y el voltaje aumentan. Lo anterior se rige por la siguiente ecuación:

$$V = R I \quad (6)$$

donde:

V = Voltaje

R = Resistencia

I = Intensidad de corriente

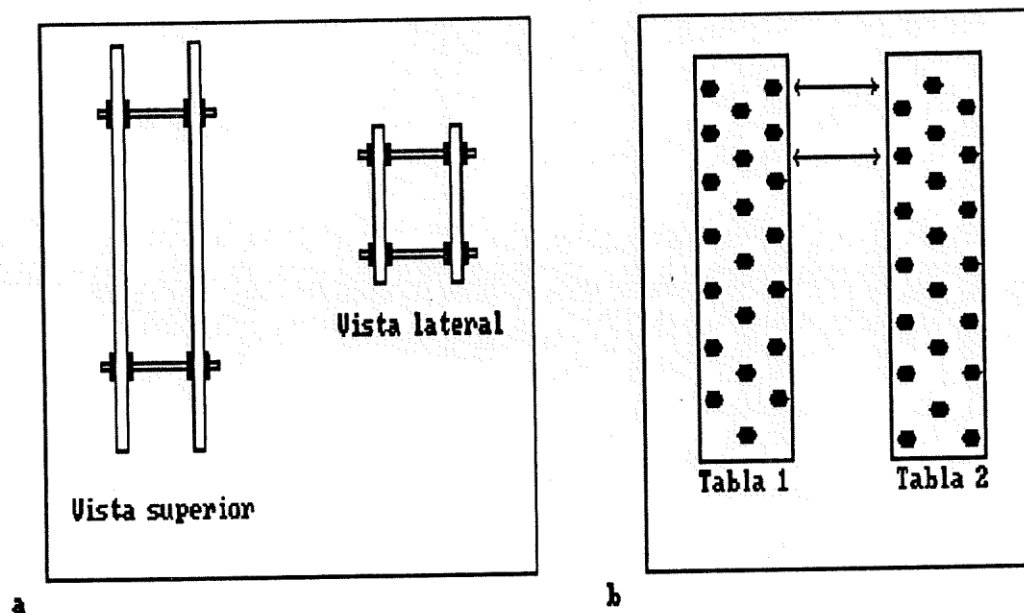


Figura 19.- a) Vista superior y lateral de los disipadores. b) Vista del desfase de los orificios del disipador.

GENERADOR DE OLEAJE CALIBRACION

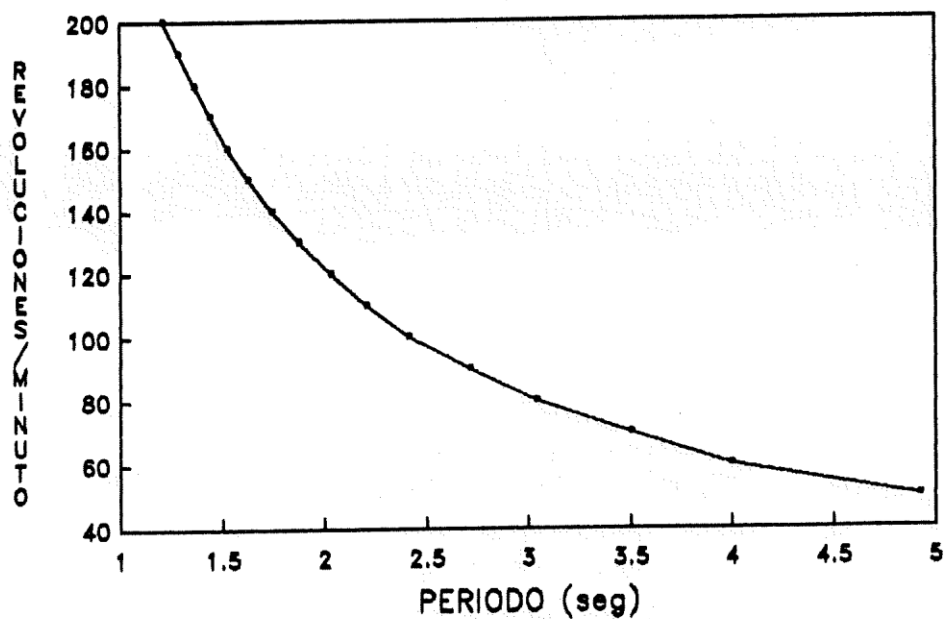


Figura 20.- Generador de oleaje. T Vs. rpm.

De los tres sensores existentes sólo sirvió uno; los otros no pudieron arreglarse ya que el manual y el diagrama de circuitos se encuentran perdidos. Al sensor restante (fig. 21) se le hicieron algunas adaptaciones:

I.- Se le eliminó la base ya que era muy voluminosa y estorbaba las mediciones en la parte somera del modelo.

II.- Se hizo una ranura a lo largo de la varilla con el fin de sujetar el sensor a cualquier altura.

III.- Para sustituir la base se construyó una barra móvil de madera que se colocó sobre la cuba de lado a lado. Esto, junto con la modificación del inciso anterior (II), permitió colocar al sensor en cualquier posición y profundidad deseadas.

IV.- Se instaló en la varilla del sensor una regla graduada a cada milímetro y se colocó un señalador metálico en el cuerpo del mismo. Esta modificación permitió que la calibración fuera mucho más precisa.

V.- La señal generada por el sensor era (dependiendo de diferentes factores) de $6v \pm 0.2v$ para el rango de oleaje representado. Así que, con ayuda del personal de la carrera de electrónica de la Escuela de Ingeniería, se construyó una tarjeta electrónica (fig. 22) cuya función principal es restar cerca de $5.7v$ para nada más dejar la variación con valor positivo y luego amplificar esta variación de $\pm 0.2v$ a

$\pm 4v$.

VI.- Se eliminó la fuente de poder del sensor ya que no funcionaba adecuadamente y se sustituyó por una fuente de poder variable que estuviera regulada (tipo Tektronix CPS250).

VII.- Ya que la tarjeta de adquisición de datos de la computadora estaba dañada, el sensor fue conectado a una graficadora Hewlett-Packard 680.

Para caracterizar al sensor se corrieron algunas pruebas en las que se graficó la altura de la onda (en un intervalo de 4.0cm) contra el valor en volts medido. Esto se hizo teniendo el nivel de agua estable a diferentes alturas, con lo que se pudo observar que el comportamiento del sensor es alineal y la curva de respuesta no es la misma para las diferentes alturas a las que se corrió el experimento. Así que se buscó la altura a la cual la respuesta fuera lo más lineal posible para el intervalo de alturas del oleaje a representar.

La relación gráfica se logró subiendo y bajando el sensor a intervalos de 0.5cm y registrando en la graficadora la posición correspondiente de la plumilla para cada intervalo; para esto nos auxiliamos de la regla graduada instalada en la varilla del sensor.

Al caracterizar y calibrar el sensor, se observó que los valores medidos para una misma posición variaban y que su

variación no era lineal en el intervalo de trabajo. Se podía bajar la lectura 0.2v en la parte superior del intervalo y 0.78v en la parte inferior. Además existe una variación que se registra pocos minutos después de que se enciende el generador de oleaje y otra en un intervalo de tiempo variable (que es cuando menos de 20 min). La lectura del sensor también varía de un día al otro y puede llegar a ser tan grande que en algunas ocasiones fue necesario cambiar el amplificador de señal de la tarjeta electrónica.

VII.4.-MEDICIONES Y RESULTADOS

La figura 23 muestra el comportamiento de la respuesta del sensor cuando el nivel del agua esta a 39.5cm por debajo del cuerpo del mismo. Claramente se observa que la respuesta tiene un comportamiento no lineal. La altura del sensor a la que se obtuvo la respuesta más lineal fue a los 26.2cm. Posteriormente se buscó si existía, a esta altura del sensor, alguna deriva en la medición y se encontró que existían dos: una que es un decaimiento en el valor del voltaje medido inmediatamente después de iniciado el movimiento del agua en la cuba, y otra deriva que se observa entre media hora y una hora después de iniciado el movimiento. En la figura 24 se observa el comportamiento de esta segunda deriva y se aprecia que tiene un comportamiento diferente a la curva original.

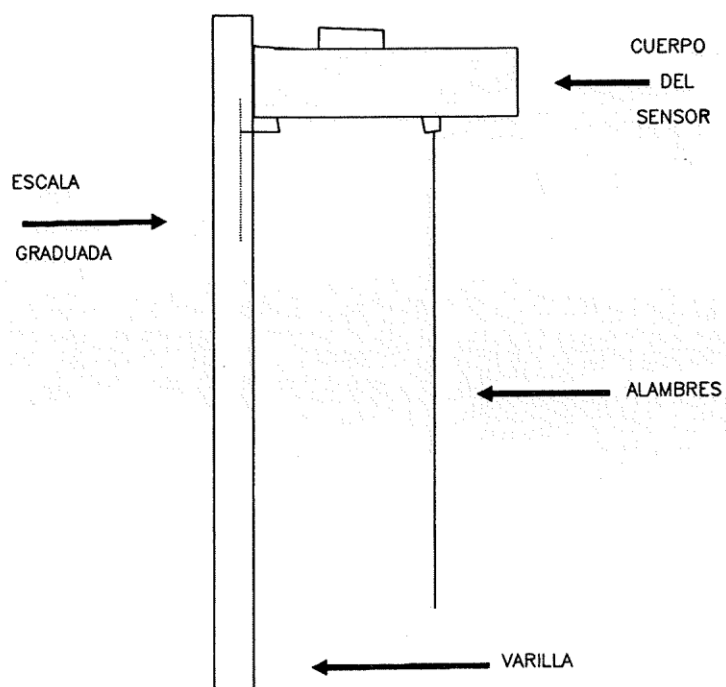


Figura 21.- Diagrama del sensor de oleaje.

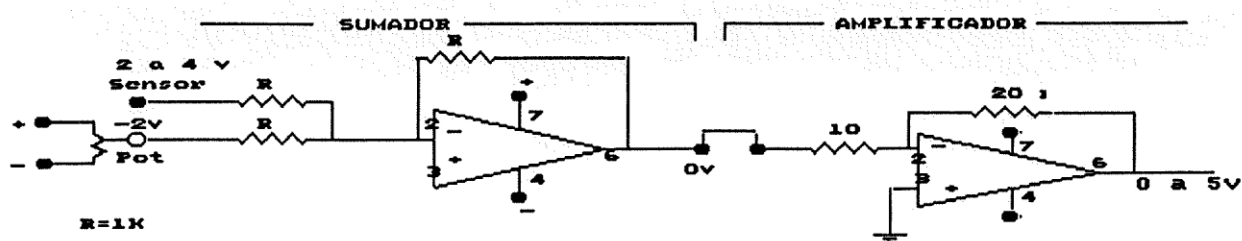


Figura 22.- Diagrama de la tarjeta electrónica.

Posteriormente se procedió a hacer unas pruebas para caracterizar la respuesta del sensor. Primero se observó que la influencia del viento sobre las mediciones era de consideración ya que mete un ruido que distorsiona la curva generada por el sensor. Al medir en un día de mucho viento (fig. 25) se vio que la curva presentaba un mayor número de picos que cuando se realiza la misma medición sin viento.

La curva de respuesta del sensor no presenta un patrón constante por lo que con el objeto de ver si con el tiempo la curva se estabilizaba, se corrió durante una hora un experimento que consistió en realizar mediciones cada quince minutos durante un lapso de cuatro minutos seguidos (fig. 26 a,b,c,d). Las cuatro curvas obtenidas presentaron patrones diferentes y en ninguna de ellas se observó que se estabilizara. Además la última curva (fig. 26d) presentó una altura menor a las demás, lo que se atribuyó a un aumento, durante el experimento, en la velocidad del motor del generador de oleaje. El aumento fue de 122rpm a 129rpm, lo que implica un cambio en el periodo del oleaje de 2seg a 1.89seg. Al observar lo anterior se atribuyó el cambio de altura de los diferentes picos de las curvas a pequeños cambios en la velocidad del generador (la cual varía constantemente ± 1 rpm). Se midió la diferencia de altura entre picos y se calculó que la variación representa un $\approx 33\%$ de la onda que se quiere modelar.

CURVA DE CALIBRACION A LOS 39.5CM

64

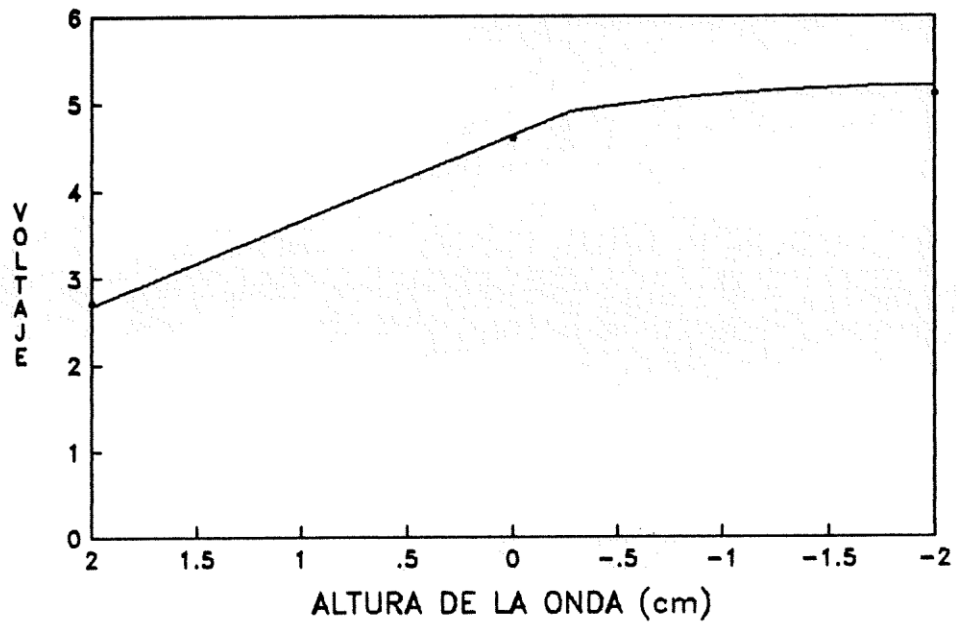


Figura 23.- Curva de calibración a los 39.5cm.

CURVAS DE CALIBRACION ZONA LINEAL

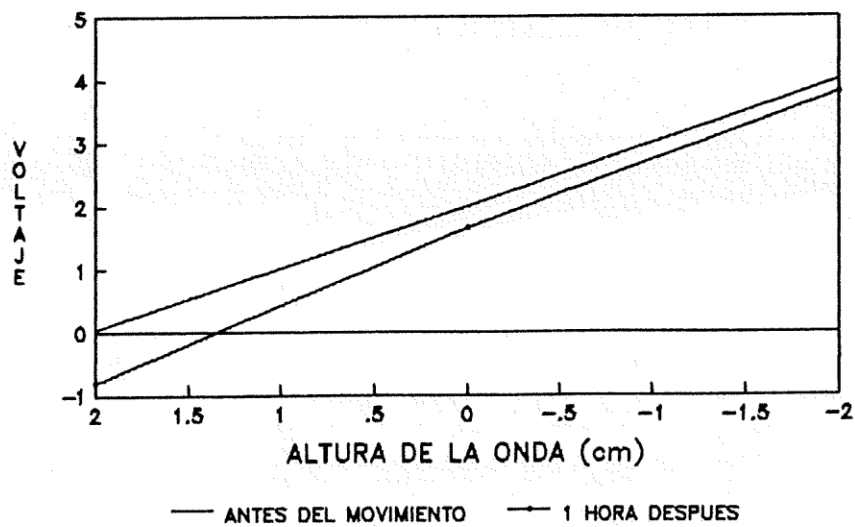


Figura 24.- Deriva de la medición a los 26.2cm.

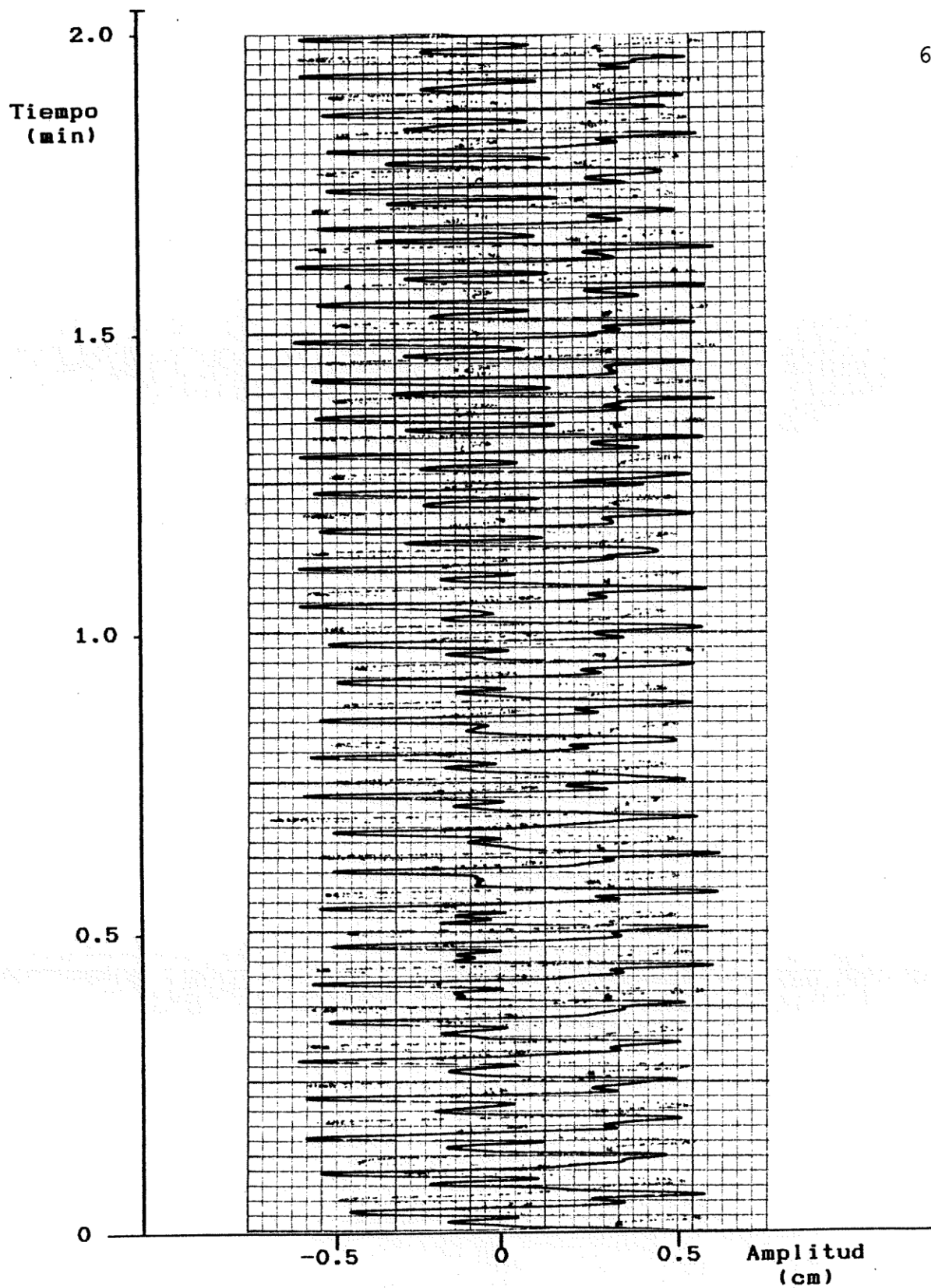


Figura 25.- Influencia del viento sobre las mediciones, el cuadro marca la respuesta ante una ráfaga de viento.

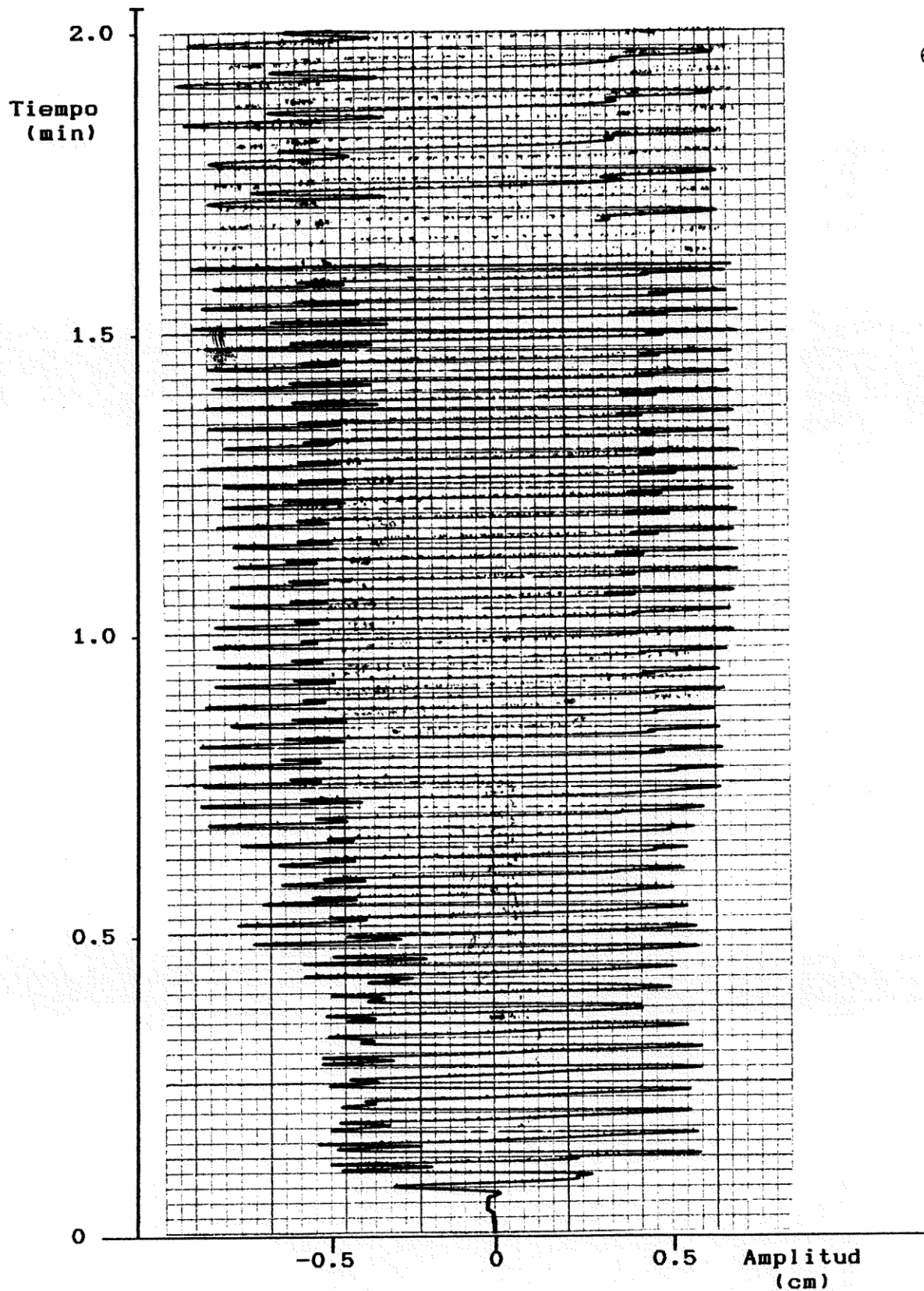


Figura 26 a.- Experimento de estabilización, respuesta inicial, la gráfica muestra los primeros 2 minutos de medición.

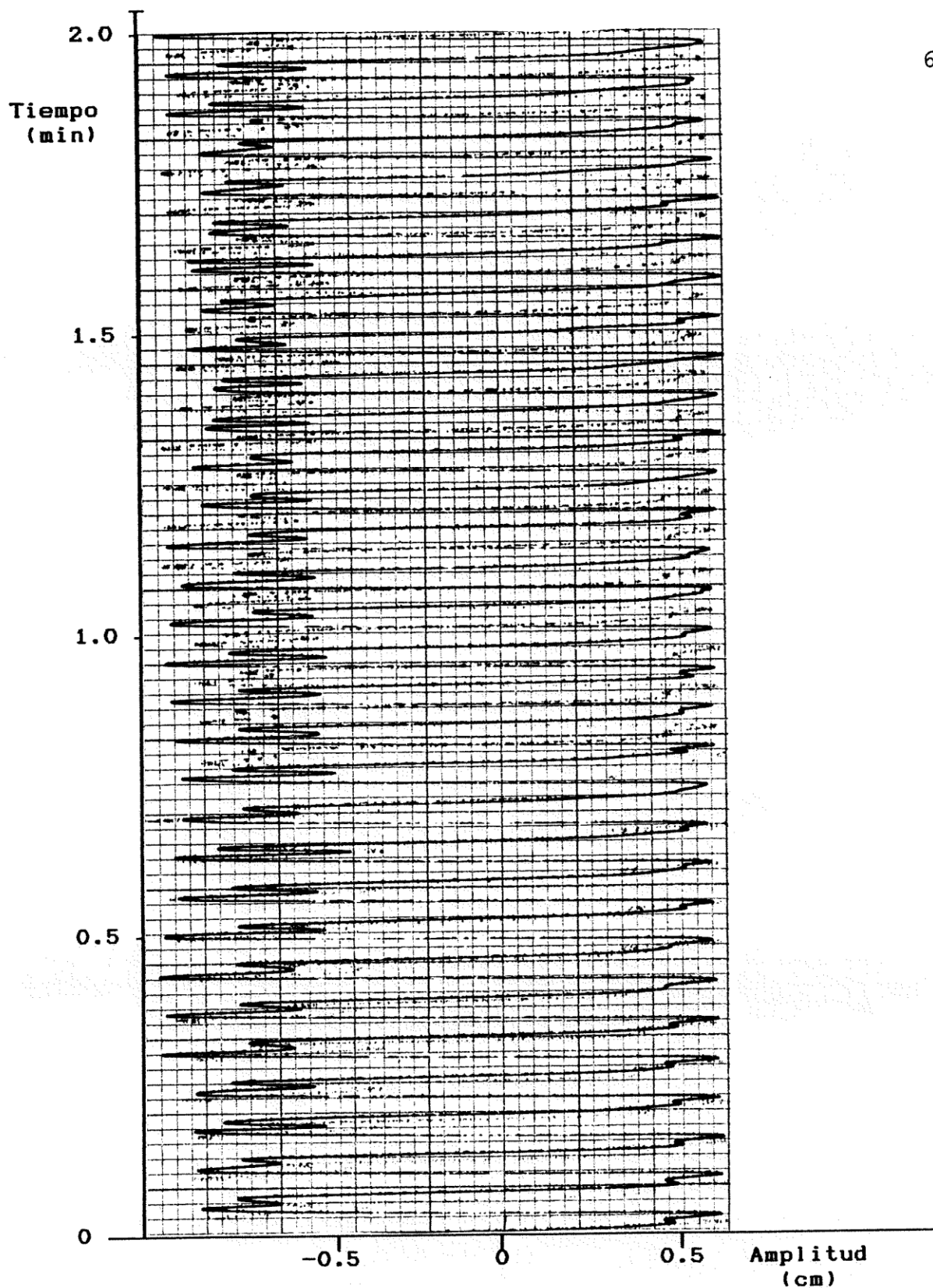


Figura 26 b.- Experimento de estabilización, respuesta después de 15min, la gráfica muestra los primeros 2 minutos de medición.

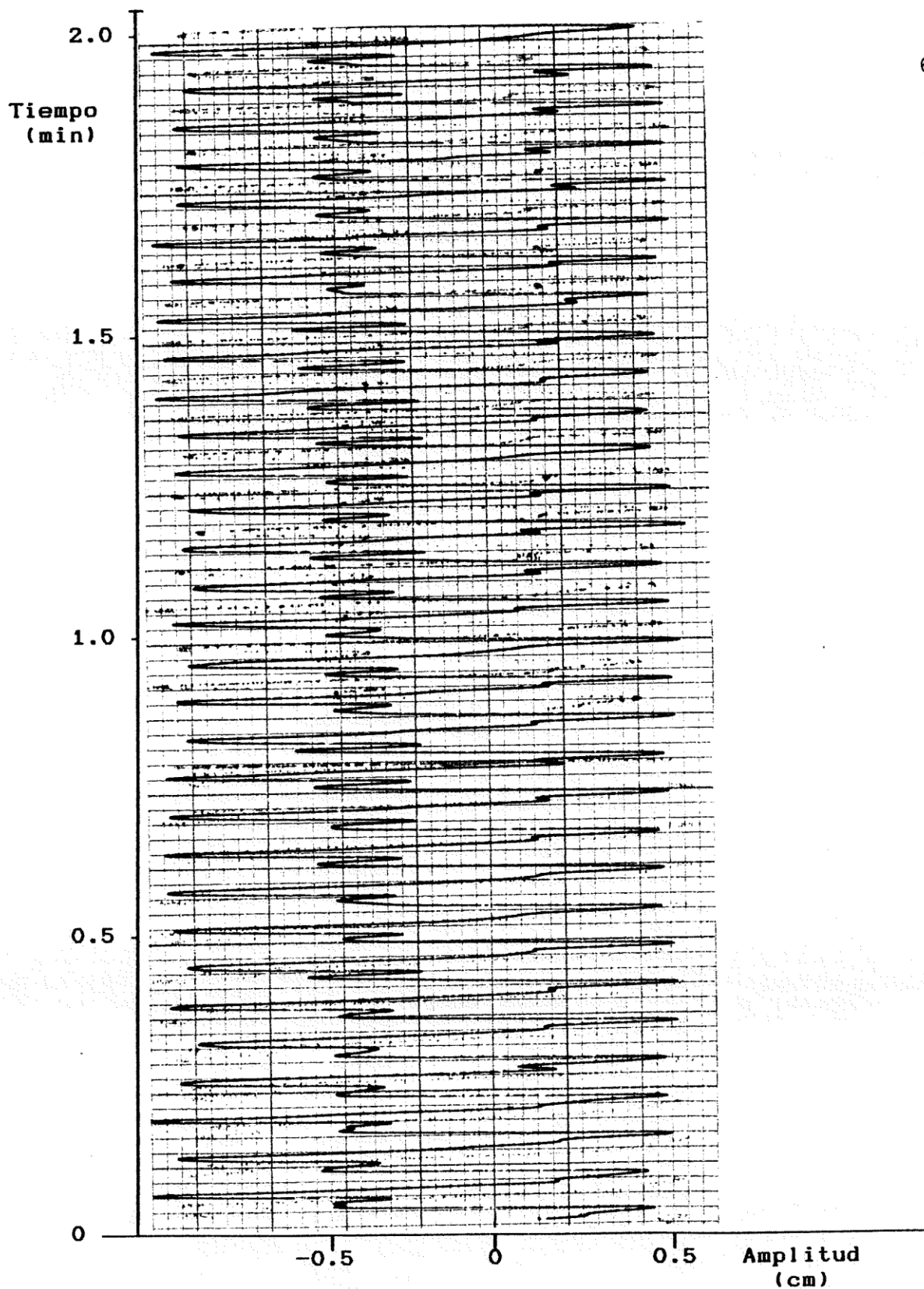


Figura 26 c.- Experimento de estabilización, respuesta después de 30min, la gráfica muestra los primeros 2 minutos de medición.

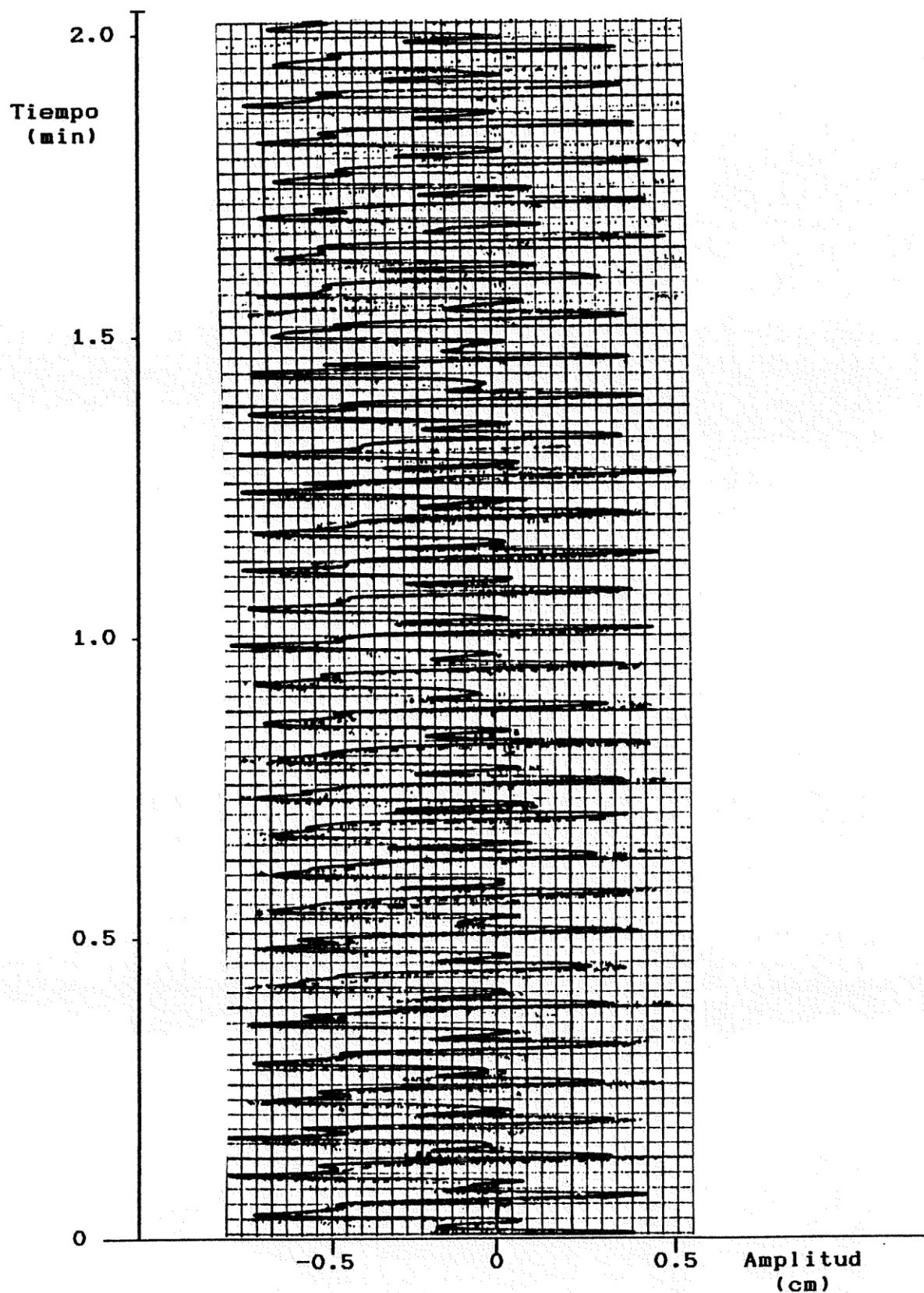


Figura 26 d.- Experimento de estabilización, respuesta después de 45min, la gráfica muestra los primeros 2 minutos de medición.

Pensando que probablemente el patrón de la curva fuera el mismo, se realizó un experimento que consistió en medir, durante cuatro minutos, la respuesta a partir de que se iniciara el movimiento (fig. 27 a,b,c). Esto se hizo tres veces y se compararon entre si los resultados de estas tres mediciones y también se compararon con una medición anterior (fig. 26 d) que tenía las mismas condiciones iniciales. No se observaron dos mediciones con el mismo comportamiento.

La siguiente serie de experimentos que se efectuó consistió en un conjunto de pruebas cualitativas a fin de ubicar las corrientes superficiales que se forman en el modelo. Para lograrlo primero se colocaron esferas de unicel frente al rompeolas y luego en varios puntos de la zona de playa. Se las dejó a la deriva por varios minutos hasta que alcanzaran la orilla de la cuba o hasta que dejaran de avanzar. Después se utilizó rodamina en los mismos lugares para corroborar los datos anteriores ya que en algunas pruebas el viento desvió las esferas; sin embargo, los patrones de corrientes fueron iguales. La figura 28 muestra los patrones de corrientes que se observaron.

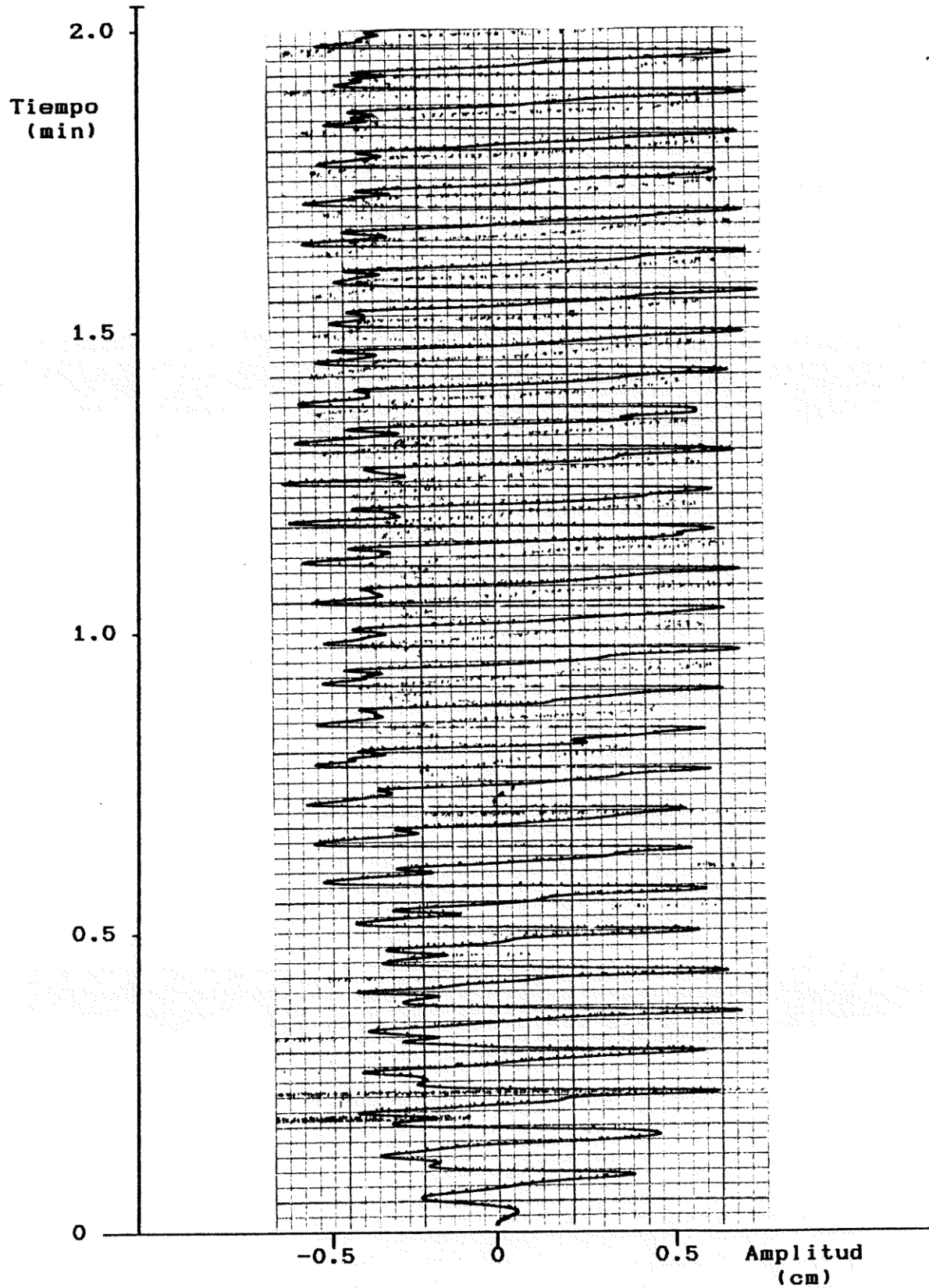


Figura 27 a.- Experimento de repetitividad, primera respuesta, la gráfica muestra los primeros 2 minutos de medición.

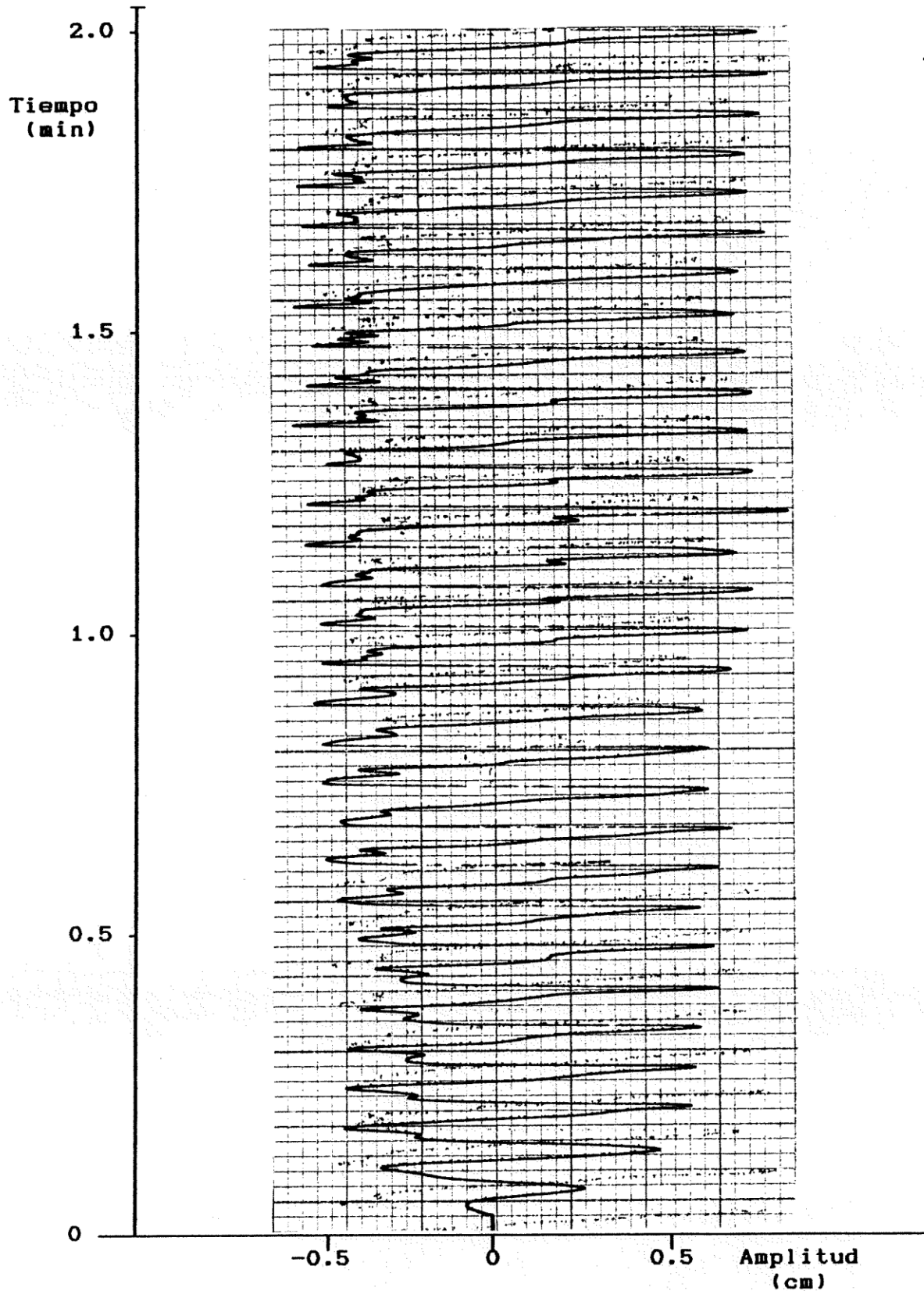


Figura 27 b.- Experimento de repetitividad, segunda respuesta, la gráfica muestra los primeros 2 minutos de medición.

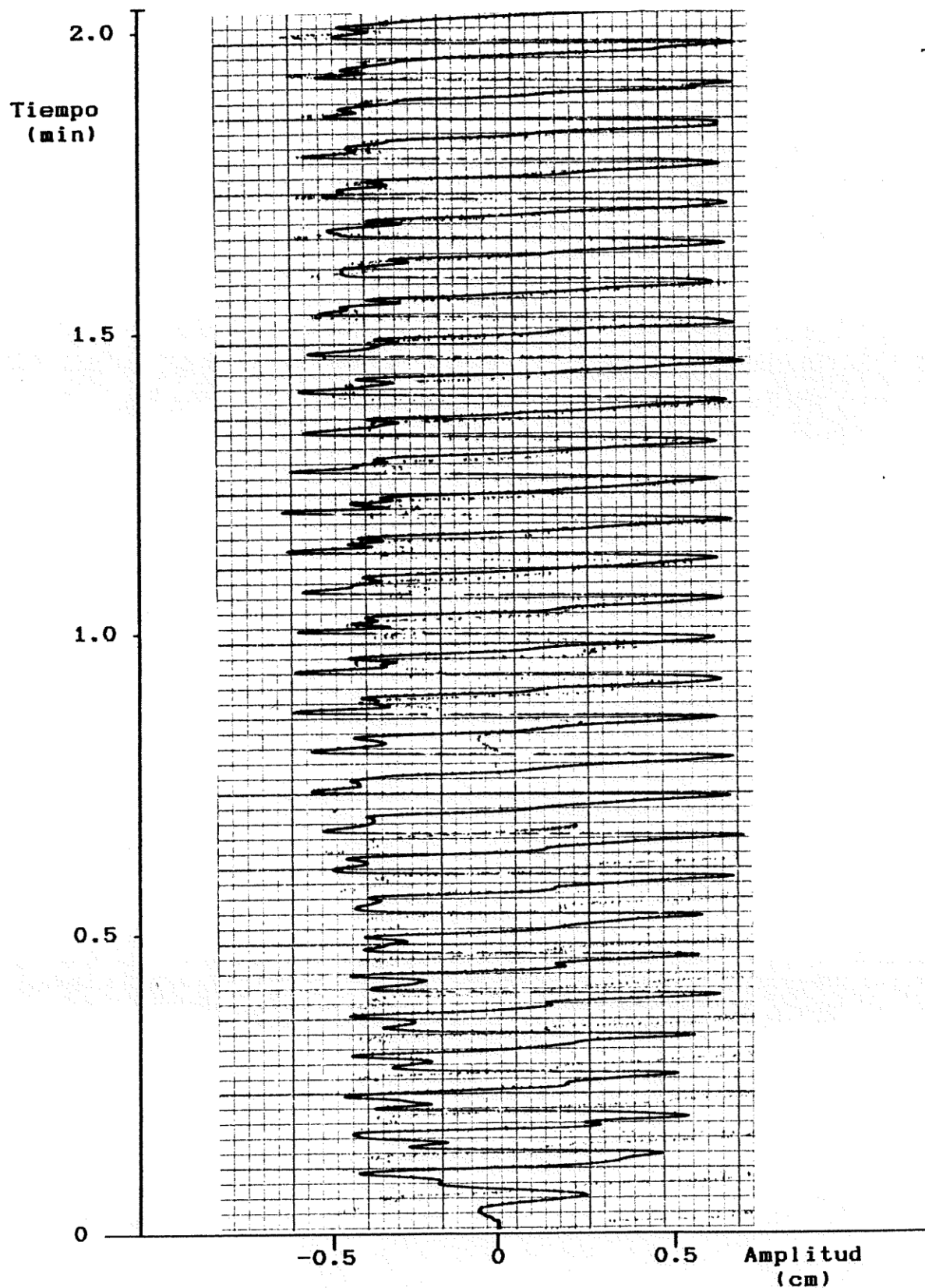


Figura 27 c.- Experimento de repetitividad, tercera respuesta, la gráfica muestra los primeros 2 minutos de medición.

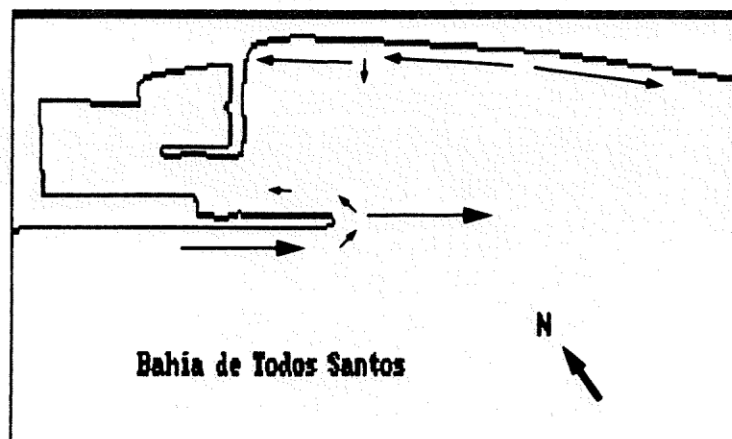


Figura 28.- Diagrama de corrientes superficiales en el modelo.

VIII. DISCUSIONES

Los datos de oleaje que se utilizan en este trabajo no son estimaciones visuales como los que anteriormente utilizaron autores tales como Ulloa-Torres (1989). Aunque presentan limitaciones por no ser datos medidos en el lugar de estudio, son más confiables pues no están condicionados a errores de apreciación visual.

La Comisión Federal de Electricidad (1983) reporta ciertos rangos en los que son más eficientes los modelos. Para las escalas geométricas en modelos distorsionados los rangos son de 100 a 300 para la escala horizontal, y de 50-100 para la vertical. En cuanto a la distorsión, la misma Comisión menciona que no debe ser mayor de 5. Como se puede apreciar, ninguno de los tres valores (escala horizontal, vertical y distorsión) se encuentra fuera de estos rangos.

De los resultados obtenidos con el modelo de prueba se observan dos aspectos principales: el primero es el hecho de que las instalaciones y el equipo (generador y sensores) presentan muchas limitantes para este tipo de trabajos; y el segundo es que el comportamiento general del modelo es igual al del prototipo.

El que las instalaciones estén al aire libre presenta algunos problemas. El principal de ellos es el viento; éste afecta de diversas maneras. Al actuar en forma directa sobre

el agua del modelo se producen ondas lo suficientemente grandes como para que el sensor las registre; por otro lado, se acelera la acumulación de tierra en la cuba lo que trae consigo que existan pequeñas variaciones en la conductividad del agua y que con ello se altere la respuesta del sensor y se dificulte la obtención de registros fotográficos. Además, el polvo daña el equipo electrónico y ensucia la parte mecánica del generador de oleaje lo que provoca que su funcionamiento sea deficiente, y actúa directamente sobre los trazadores de corrientes y los desvía de su trayectoria. Otro problema que suscita el hecho de que las instalaciones estén descubiertas es el del paso de la gente por el lugar, la cual altera el modelo puesto que al arrojar objetos dentro de la cuba modificando así la forma y la pendiente de los disipadores de grava.

Como se aprecia en la figura 26 a,b,c y d, el patrón de las curvas ni es constante y ni se estabiliza con el tiempo. Esto probablemente sea atribuible a la formación de una segunda onda en cada ciclo de la paleta del generador. Esta onda no tiene características constantes, y no presenta un frente bien definido; además su altura no sólo varía de una onda a otra sino que en la misma onda presenta segmentos de diferentes alturas. En los registros, unas veces aparece antes de la onda principal y otras veces después por lo que podría pensarse que tampoco su periodo es constante.

La figura 26 d presenta una altura menor a las tres anteriores debido a que el generador de oleaje aumentó su velocidad durante el transcurso del experimento. Esto dio la pauta para atribuir los registros de los cambios de amplitud de las crestas a pequeñas variaciones de la velocidad del generador de oleaje. El generador presenta una variación constante de ± 1 rpm, y la diferencia, en un registro, entre la amplitud de la cresta más alta y la más baja representa aproximadamente un 33% de la amplitud de la cresta de la onda que se quiere representar. Es probable que si se estuviera trabajando a una escala mucho menor el ruido no fuera tan significativo, sin embargo, para poder representar modelos marítimos en esta cuba es necesario utilizar escalas grandes y distorsionadas.

En la figura 27 a,b y c, se observa que para las mismas condiciones iniciales la respuesta presenta siempre comportamientos diferentes. Ello implica que no se puede correr el mismo experimento dos veces y obtener los mismos resultados. Tal vez se deba a la irregularidad de la segunda onda que se genera y a que a pesar de que los disipadores eliminan la mayoría de la reflexión, ésta no fue eliminada en su totalidad.

Otra limitante importante para la interpretación de las gráficas es la alinealidad de la respuesta del sensor, y, también, de la deriva que éste presenta. La alinealidad

principalmente se debe al material con el que están hechos los alambres del sensor, (fig 21), y al diseño de los circuitos del mismo.

Las limitantes arriba mencionadas hacen imposible la obtención de resultados cuantitativos confiables. De ahí que los experimentos cualitativos (patrones de corrientes) sean importantes ya que posibilitan la determinación de si el modelo tiene o no un comportamiento similar al prototipo, y con base en ello el que se pueda decir si los datos con los que se alimentó el modelo funcionan o no funcionan.

Como se puede observar en la figura 28, el patrón predominante es hacia el Sureste, igual al reportado por Ortiz-García (1991), López-Luna (1990), Baca-Chacón (1981) y Aranda-Manteca (1983). Si se compara con el detallado patrón de corrientes que da Aranda-Manteca (1983) (fig. 2) para la zona de estudio, se encontrara una corriente litoral inmediatamente al sur del área del puerto que va en dirección al Norte (igual que la que se observa en la figura 29).

CONCLUSIONES

Faltan mediciones de oleaje en la zona. Los datos de oleaje aquí utilizados son de mayor calidad que los que se habían estado utilizando en la zona.

Los valores de escalas y distorsión se encuentran dentro de los rangos recomendados.

- Las instalaciones y el equipo con que cuenta la Escuela Superior de Ingeniería de la U.A.B.C., en Ensenada, tienen muchas limitantes para poder desarrollar modelos marítimos que no sean para fines didácticos:

a.- Se debe de modificar el generador de oleaje a fin de evitar el ruido que se introduce al sistema.

b.- Se necesita hacer más a fondo una caracterización del sensor para poder interpretar fácilmente los resultados; y modificarlo para evitar en lo posible la respuesta alineal.

c.- Hay que arreglar la tarjeta de adquisición de datos para poder contar con un buen registro y para poder procesar a éste de forma tal que se obtenga mayor información que la que se consigue al graficar directamente la respuesta del sensor.

- Por todas las limitantes que se presentan sólo se pueden obtener resultados cualitativos.

- El modelo presenta patrones de corrientes iguales a los reportados para el prototipo, y además, la difracción se

comporta igual a la que directamente se observa en el prototipo, por lo que los datos utilizados para alimentar al modelo se consideran correctos.

- Las características dadas para la construcción del modelo propuesto en el presente trabajo son adecuadas. Si el modelo de prueba, con todas sus limitantes, arrojó buenos datos cualitativos, es probable que en una cuba mejor diseñada dé también buenos datos cuantitativos.

Apendice I.- Definiciones.

Se definen a continuación varios conceptos que son útiles para la comprensión del escrito. (Tomado de Comisión Federal de Electricidad, 1983).

1.- Prototipo.

Obra, máquina, fenómeno o sistema natural que se desea estudiar.

2.- Modelo.

Representación de un prototipo; se deben utilizar condiciones de similitud o semejanza. La representación puede ser de menor o mayor tamaño que el prototipo o también puede ser a tamaño natural.

3.- Escala.

Relación que existe entre una magnitud del prototipo y su correspondiente modelo.

4.- Distorsión.

Cuando dos o más magnitudes semejantes se relacionan con dos o más escalas diferentes se dice que existe una distorsión. Generalmente se dice que un modelo es distorsionado cuando se utilizan dos escalas para relacionar sus dimensiones geométricas, es decir, se tiene una de longitudes verticales, y otra para las horizontales.

BIBLIOGRAFIA

- Aranda Manteca, F. J., 1983. Estudios de minerales pesados como trazadores de la corriente litoral en la Bahía de Todos Santos, B.C. Tesis de Licenciatura, Escuela Superior Ciencias Marinas, Ensenada B.C.
- Baca Chacon, C., 1981. Procedencia de minerales pesados en la Bahía de Todos Santos, B.C. Tesis de Licenciatura, Escuela Superior de Ciencias Marinas, Ensenada B.C.
- Bottin, RR. 1991. Fisherman's Warf: Hydraulic Design of a successful Harbor Project. J. Coast. Res.; vol.7, no.1, pp. 1-9.
- CERC-85-11, Bottin, R., y Acuff, H., 1985 diciembre. Mission Bay Harbor, San Diego County, California, Design for Wave and Surge Protection. Coastal model investigation.
- CDIP, 1985 Y 1986. Coastal Data Information Program. Reportes Mensuales.
- Comisión Federal de Electricidad, 1983. Manual de Diseño de Obras Civiles. Tomos A.2.13 y A.2.15, México D.F.
- Espinoza Díaz, F., 1990. Analisis de funcionalidad del puerto del Sauzal de Rodríguez B.C. Pregunta problema, Facultad de Ciencias Marinas, Ensenada B.C.
- Gaggin, IA. 1986. Field and Model Investigations for Brakwater walls at the Entrance to Georges Bay, St. Helens, Tasmania. Australian Port, Harbour and Offshore Engineering Conference. pp. 326-330.
- Guardado France, R., 1990. Sobre los cantiles del Sauzal de Rodríguez, Baja California, México. Resúmenes VIII Congreso Nacional de Oceanografía.
- INEGI, 1984. Sintesis Geográfica de Baja California. México, D.F.
- Lopez Luna, M. G., 1990. Cuantificación del volumen de sedimento transportado por la corriente litoral en las playas del Sauzal y Pesquera Zapata, ubicadas en la zona Norte de la Bahía de Todos Santos, Baja California, México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Marinas, Ensenada B.C.

- Markle, D.G., 1989. Physical Models of Coastal Structures as Designed and Used by the US Army of Engineers. Journal of Coastal Research.
- Mueller, DS. 1989. Physical Modeling of Major Cutoffs. Hydraulic Engineering. Proceedings of the 1989 National Conference on Hydraulic Engineering. pp. 1126-1131.
- Ortiz García, J., 1991. Análisis de la problemática ambiental en la darsena de Ensenada. Pregunta problema, Facultad de Ciencias Marinas, U.A.B.C. Ensenada B.C.
- Padilla Hernandez, R., 1989. Potencia y dirección del oleaje en la costa Noroeste de la Península de Baja California y su aprovechamiento. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Marinas, Ensenada B.C.
- Quinn, A. 1972. Design and Construction of Ports and Marine Structures. Segunda edición, Mc Graw-Hill Book Company, New York.
- Reyes Coca, et. al., 1990. Climatología de la región noroeste de México (Baja California, Baja California Sur, Sonora y Sinaloa) Parte 1.- Precipitación: Series de tiempo del valor total mensual y estadísticas del año climatológico. Reporte técnico, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada y la Comisión Nacional del Agua.
- Silvester, R. y Hsu, J. 1993. Coastal Stabilization, Innovative Concepts. PTR Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- Slotta, LS., et. al. 1983. Shoalin of Port of Astoria, Oregon, by sediments from Mount St. Helens.
- Torres Navarrete, C. R., 1986. Comparación y registros de oleaje obtenidos en una localidad al Sur de la Bahía de Todos Santos, B.C. Tesis de Licenciatura, Escuela Superior de Ciencias Marinas, Ensenada B.C.
- Ulloa Torres, M. J., 1989. Refracción lineal del oleaje en el puerto de Ensenada. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Marinas, Ensenada B.C.
- U.S. Army, 1984. Shore Protection Manual. Department of the Army, U.S. Army Corps of Engineers. Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, USA.