



62  
26  
**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES**

**“ARAGON”**

**“ESTUDIO EN MODELO FISICO DE  
AGITACION PARA EL DIMENSIONAMIENTO  
DE LA TERMINAL DE TRANSBORDADORES  
EN XCARET, QUINTANA ROO”**

**FALLA DE ORIGEN**

**T E S I S**

**Que para obtener el Título de:**

**INGENIERO CIVIL**

**P r e s e n t a**

**JORGE RODRIGUEZ CHAVEZ**

**Asesor: Ing. Jesús I. Heredia Domínguez**

**San Juan de Aragón, Estado de México**

**1995**



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.

T I T U L O :

"ESTUDIO EN MODELO FISICO DE AGITACION PARA EL  
DIMENSIONAMIENTO DE LA TERMINAL DE TRANSBORDADORES  
EN XCARET, QUINTANA ROO"

NOMBRE:

JORGE RODRIGUEZ CHAVEZ

## I N D I C E

### 1.- GENERALIDADES.

1.1 ANTECEDENTES.

1.2 JUSTIFICACION.

### 2.- CONDICIONES FISICAS.

2.1 MAREAS.

2.1.1 MAREAS ASTRONOMICAS.

2.1.2 MAREAS DE TORMENTA.

2.1.3 MAREA HIDRAULICA.

2.1.4 SISTEMA MAREOGRAFO NACIONAL.

2.2 OLEAJE.

2.2.1 OLEAJE REAL.

2.2.2 INFORMACION ESTADISTICA DE OLEAJE.

### 3.\_ PROYECTO DEL MODELO.

3.1 TEORIA DE MODELOS.

3.2 ANALISIS DIMENSIONAL.

3.2.1 TEOREMA  $\pi$  O DE BUCKINGHAM.

3.3 TEORIA DE LA SIMILITUD.

3.4 LEYES DE SIMILITUD.

3.5 CONSTRUCCION DEL MODELO.

3.5.1 ELECCION DE ESCALAS.

#### **4.- OPERACION DEL MODELO.**

- 4.1 METROLOGIA EXPERIMENTAL.
- 4.2 EQUIPO DEL MODELO.
- 4.3 ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE OLEAJE.
  - 4.3.1 SUBROUTINA PARA LA CALIBRACION DEL SENSOR DE OLEAJE.
  - 4.3.2 SUBROUTINA PARA ENTRADA DE DATOS ANALOGICOS DE OLEAJE.
  - 4.3.3 SUBROUTINA PARA ANALISIS ESTADISTICO.
  - 4.3.4 SUBROUTINA DE LA POTENCIA ESPECTRAL.
- 4.4 CALCULO DEL COEFICIENTE DE AGITACION.
- 4.5 PROGRAMA DE ENSAYOS.

#### **5.- RESULTADOS.**

#### **6.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

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

La República Mexicana cuenta con 9,800 km. de litorales, la cual la hace muy rica en lo que a productos marítimos se refiere, sabemos que desde la aparición de los seres humanos entou han aprovechado de los recursos naturales para su subsistencia, - como los marítimos entre otros. Para esto, con el crecimiento de la población y con el paso del tiempo se ha hecho una necesidad el desarrollo de la tecnología para el mejor aprovechamiento de dichos recursos, los cuales se clasifican en: Navegación, Explotación de recursos, Recreo.

La navegación puede ser: turística, comercial ó militar, siendo la comercial de mayor importancia en el desarrollo económico de los Pueblos debido a que por el medio marítimo se transportan productos tales como: materias primas, petróleo, granos, minerales etc.

Explotación de recursos marítimos. Aquí es importante mencionar a la pesca como una de las más antiguas actividades del hombre para su alimentación la explotación de minerales, la extracción de petróleo; esta última en la actualidad ha sido la que ha presentado un mayor desarrollo en comparación a otras, esto se debe a la cada vez mayor demanda de los productos derivados del petróleo, como combustibles, productos sintéticos etc.

Dentro de las actividades recreativas podemos mencionar a, la pesca deportiva, el buceo, velco y canotaje por ejemplo; en México que cuenta con maravillosas playas naturales y debido a la afluencia cada día mayor de turismo a dichos centros de recreo, día con día se requiere de construcciones de infraestructura para mejorar el acceso a dichos centros así como las construcciones marinas para evitar que los oleajes impidan la recreación en las playas óptimas para ello.

Al igual que para obras recreativas, en todas las actividades antes mencionadas el Ingeniero Civil tiene ingerencia directa o indirecta como por ejemplo en la navegación, interviene desde el proyecto, diseño y construcción de las estructuras de atraque para las diversas embarcaciones, de igual manera ocurre en el caso de la explotación de los diversos recursos marítimos en la construcción de plataformas marítimas para la extracción del petróleo por ejemplo.

El objetivo del presente trabajo es el de dimensionar una terminal de transbordadores en el poblado de XCARET QUINTANA ROO, debido a que en esta Zona se desarrolla un ambicioso proyecto de extracción y comercialización de piedra caliza.

Para la construcción de esta terminal se solicito apoyo al Laboratorio Hidráulica Marítima, debido a que en el lugar se presentan oleajes que son un problema para la operación de los transbordadores, para el cual es preciso llevar a cabo un estudio de agitación, auxiliandonos para ello de un modelo a escala debido a que en condiciones reales sería muy costoso.

Con los resultados obtenidos se podran plantear las soluciones óptimas a dicho problema.

## C A P I T U L O I

### GENERALIDADES.

#### 1.1 ANTECEDENTES

El estado de Quintana Roo, se localiza en la parte Oriental de la Península de Yucatán, entre los paralelos 17° 49' y 21° 35' de latitud Norte y los meridianos 86° 42' y 89° 25' de longitud Oeste del Meridiano de Greenwich.

Limita al Norte con el Golfo de México, al Noroeste con el estado de Yucatán; al este con el Mar Caribe; al Oeste con el estado de Campeche; al Sur Belice y al Sureste con la República de Guatemala.

La superficie total del estado es de 50,843 kilómetros cuadrados, de los cuales 50,350 corresponden a la superficie Continental y 493 a la superficie Insular, la capital de este estado es la ciudad de Chetumal.

El estado de Quintana Roo cuenta con un sistema hidrológico con características muy particulares, la circulación de sus aguas es primordialmente subterránea y no existen practicamente corrientes superficiales, salvo los Ríos Azúl y Hondo.

El Río Hondo tiene una longitud aproximada de 160 kilómetros una profundidad media cercana a los 10 mts. y un promedio de 50 mts. de ancho, deposita sus aguas en la bahía de Chetumal, en épocas de lluvias, se vuelve navegable en la mayor parte de su extensión, situación que es aprovechada por las empresas madereras para realizar por este, el transporte de los productos forestales.

Las afluentes más importantes del estado son el Río Azúl y una serie de corrientes como la San Roman, arrollo sabido y la de Chac.

El estado cuenta con 44 lagunas, los cuerpos de agua más importantes son: La Laguna Bacalar de 60 kms. de longitud que se encuentra al Noroeste de la ciudad de Chetumal; la Laguna Chichacanab con 33 kms. de longitud se haya entre Santa Rosa y Polyuc, y las Lagunas de Coba al Noreste de Tulum.

La superficie del estado es bastante plana con una suave e inapreciable inclinación de Sur a Norte en la que no encuentran elevaciones de importancia, siendo la altitud máxima de 200mts.

Como la plataforma ha sido intensamente fracturada, el agua de las lluvias ha tomado vías subterráneas, infiltrandose por diversos conductos hasta llegar a una zona de grandes cavernas profundas o copas arenosas por donde se mueve a su presión.

La acción erosiva provocada por las aguas cargadas de anhídrido carbónico en grietas y fisuras dan forma a las cavernas; que al derrumbarse se convierten en cenotes.

La composición del subsuelo corresponde a la llamada losa de Yucatán que constituye una masa compacta, uniforme, con persistentes formaciones calizas. Aquí es donde radica la importancia de la actividad minera del estado, en la explotación de los yacimientos de calizas, arcillas y yeso que se utilizan para la construcción.

Una actividad importante que se desarrolla en Quintana Roo es la pesca que fundamenta su importancia en las grandes

Las afluentes más importantes del estado son el Río Azúl y una serie de corrientes como la San Roman, arrollo sabido y la de Chac.

El estado cuenta con 44 lagunas, los cuerpos de agua más importantes son: La Laguna Bacalar de 60 kms. de longitud que se encuentra al Noroeste de la ciudad de Chetumal; la Laguna Chichacananab con 33 kms. de longitud se haya entre Santa Rosa y Polyuc, y las Lagunas de Coba al Noreste de Tulum.

La superficie del estado es bastante plana con una suave e inapreciable inclinación de Sur a Norte en la que no encuentran elevaciones de importancia, siendo la altitud máxima de 200mts.

Como la plataforma ha sido intensamente fracturada, el agua de las lluvias ha tomado vías subterráneas, infiltrandose por diversos conductos hasta llegar a una zona de grandes cavernas profundas o copas arenosas por donde se mueve a su presión.

La acción erosiva provocada por las aguas cargadas de anhídrido carbónico en grietas y fisuras dan forma a las cavernas; que al derrumbarse se convierten en cenotes.

La composición del subsuelo corresponde a la llamada losa de Yucatán que constituye una masa compacta, uniforme, con persistentes formaciones calizas. Aquí es donde radica la importancia de la actividad minera del estado, en la explotación de los yacimientos de calizas, arcillas y yeso que se utilizan para la construcción.

Una actividad importante que se desarrolla en Quintana Roo es la pesca que fundamenta su importancia en las grandes

riquezas marinas del Caribe y del Golfo, de las cuales a la entidad le corresponden 860 kms. de litorales, así como 87,300 hectáreas de Bahías y Lagunas.

Otra de las actividades importantes de Quintana Roo es el turismo, ya que cuenta con importantes litorales; playas atractivas de paisajes hermosos con arenas finas y blancas; arrecifes de coral y aguas cristalinas donde se pueden practicar la pesca deportiva, buceo, navegación, observar la fauna marina entre muchas actividades más.

Quintana Roo es un estado para el cual el transporte marino tiene bastante relevancia desde el punto de vista tanto comercial como turístico, en parte debido a su situación geográfica, por el hecho de contar con territorio insular en Cozumel e Islas Mujeres, puntos de gran afluencia turística.

De hecho, gran parte del movimiento que se realiza en los puertos de la entidad corresponden a pasajeros, por la importancia turística que esta ha adquirido en los últimos años.

La red portuaria de la entidad esta integrada por catorce puertos, de los cuales solo tres son de altura (Isla Mujeres, Puerto Morelos y Cozumel), estos mismos puertos y el de Chetumal, sobresalen en la actividad turística, pesquera, y comercial.

## 1.2 JUSTIFICACION

A partir de 1983 con la participación del grupo ICA de México y la empresa Norteamericana VULCAN MATERIALS COMPANY se ha desarrollado un ambicioso proyecto para la explotación de roca caliza en el estado de Quintana Roo, vendiendo está en Estados Unidos para ser utilizada como agregado para la construcción, transportandola por vía marítima a lo largo de la costa del Golfo de México.

"Calizas Industriales del Carmén" (CALICA), es la empresa encargada de la extracción, trituración, procesamiento y embarque de la roca que sera enviada a los Estados Unidos, como ya se dijo para ser empleada para la fabricación de concreto hidráulico, así como agregado para la construcción de bases y mezcla azfáltica, para vías terrestres.

Para el procesamiento, así como la embarcación del producto, se está construyendo un complejo industrial en el estado de Quintana Roo, en un terreno de 1,300 hectáreas de superficie, localizado a 7 kms. al sur de la población de Playa del Carmén y a 55 kms. de Cancún, Además se esta construyendo el puerto que se requiere para recibir embarcaciones hasta de 60,000 toneladas de peso muerto, las que transportarán las rocas extraídas en el lugar.

Mediante diversas pruebas de barrenación, se confirma la existencia de grandes yacimientos de piedra caliza, los cuales se calcula una reserva por aproximadamente 50 años de explotación .

Calizas Industriales del Carmén, se comprometió a construir en terrenos de su propiedad, conjuntamente con el proyecto del

Puerto, una terminal para recibir a los transbordadores que darán servicio entre la Isla de Cozumel y la tierra firme. La construcción de esta terminal permitira a los transbordadores reducir el tiempo de recorrido a la mitad o menos de la mitad del que actualmente se tiene entre Cozumel y Puerto Morelos (Fig. 1). El efecto inmediato sera el abaratamiento del transporte y un mejor y más confiable servicio.

Al construir esta terminal, los Taludes de la misma quedarán verticales existiendo problemas de agitación, mismos que se pretenden resolver mediante un estudio de agitación del lugar. Para determinar los coeficientes de agitación se recurrió a la utilización de un modelo hidráulico que se construyó en el laboratorio de hidráulica marítima.

Como se mencionó anteriormente, la operación del modelo permitirá determinar finalmente los coeficientes de agitación y proponer de esta manera los Taludes y dimensiones de la dársena apropiados para disminuir esta agitación: Que es el objetivo del presente trabajo.

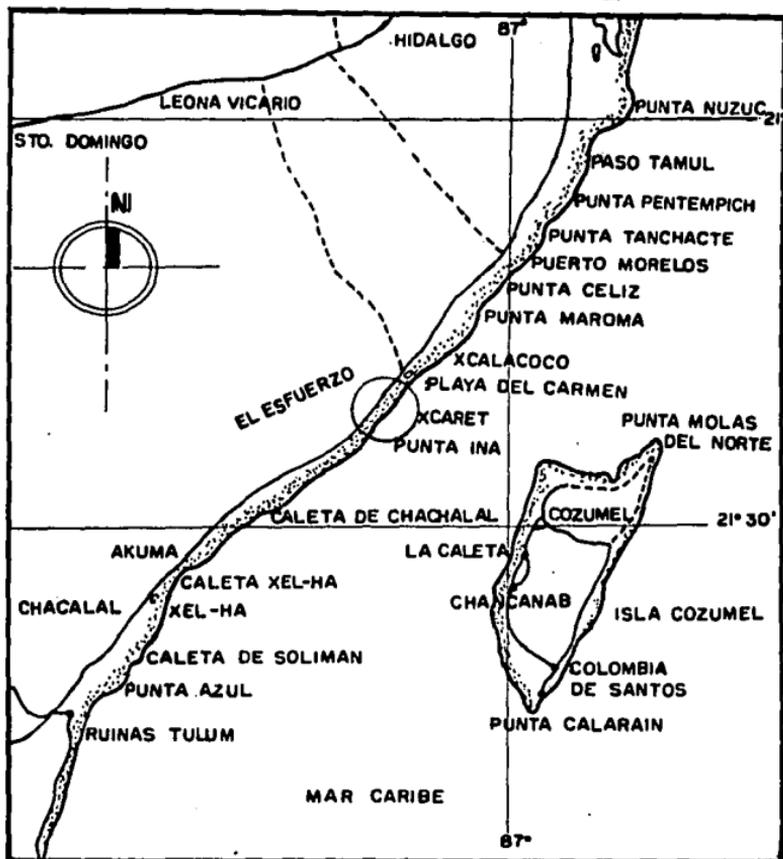


FIG. I

LOCALIZACION

## C A P I T U L O 2

### CONDICIONES FISICAS

#### 2.1 MAREAS

La primera teoría para explicar el fenómeno de las mareas fue hecha por Newton en 1687, en la cual mostró la atracción gravitacional entre el sol, la luna y la tierra. Newton presentó la teoría que se conoce como "Estática", la cual no fué perfeccionada pero proporciona la noción esencial de la fuerza de atracción que los astros tienen sobre las moléculas líquidas.

En 1799, LA PLACE presentó la teoría dinámica. Estableció que el nivel del mar en un punto determinado es a consecuencia de:

- a) Oscilaciones libres en donde el periodo y la amplitud son funciones de las dimensiones del vaso o recipiente que constituyen los Océanos.
- b) Oscilaciones forzadas, producto de la acción (atracción) de los astros (Luna y el Sol). Con estas bases, muchos progresos se han hecho hoy en día en el análisis y predicción de mareas. Para definir -- lo que es una marea (oscilación periódica del nivel) se muestra la fig. 2.

Una clasificación de las mareas en función de las causas que las originan son: Mareas astronómicas, mareas de tormenta, y mareas hidráulica.

##### 2.1.1 MAREAS ASTRONOMICAS

Como fue explicada por Newton, las mareas están relacionadas con las fuerzas de atracción entre el sol, la tierra y

la luna.

Haciendo algunas suposiciones, con el fin de explicar el fenómeno, considerando para ello unicamente a la tierra, la luna y las fuerzas de atracción que existe entre ellas, las suposiciones son las siguientes:

- La Tierra está cubierta totalmente con una capa de agua.
- La Luna está en el plano del Ecuador de la Tierra.
- No existe rotación de la Tierra.

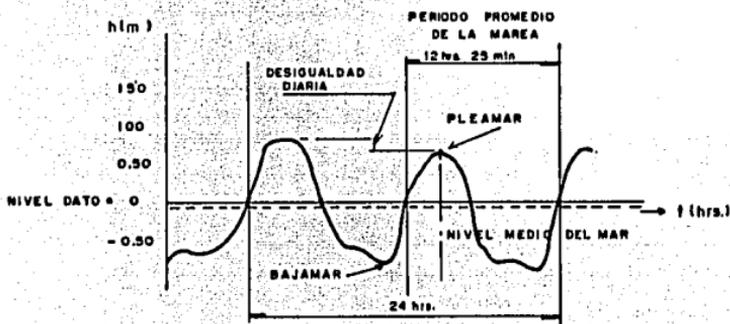


FIG. 2 ONDA DE MAREA

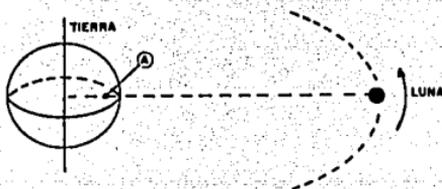


FIG. 3 SISTEMA TIERRA-LUNA

Mientras giran, los dos cuerpos ejercen fuerzas gravitacionales entre ellos y por la razón de equilibrio estas fuerzas deben ser contrarrestadas por fuerzas centrífugas.

Es obvio que estas fuerzas deforman la capa de agua que cubre la Tierra.

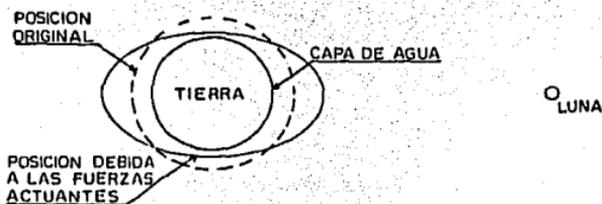


FIG. 4 ATRACCION DE LAS MOLECULAS DE AGUA

Es notorio que las consideraciones no son del todo validas. Si las situaciones reales se aplican, el resultado sera como lo muestra la figura.

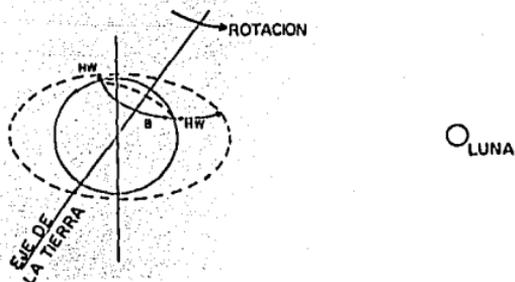


FIG. 5 ATRACCION Y MOVIMIENTO DE ROTACION TERRESTRE

- 1.- La Tierra tarda en dar una vuelta al sol en 365 días.
- 2.- La luna alrededor de la Tierra 273 días.
- 3.- La Tierra alrededor de su eje 24 horas.

De esto se deduce que, por ejemplo en el punto B de la Fig. 5, por lo tanto dos pleamares y dos bajamares en un periodo aproximadamente de 25 horas la marea en este punto se llamara marea semidiurna.

Ademas de la marea semidiurna existen otros dos tipos: Diurna y Mixta.

La marea diurna comprende un pleamar y un bajamar por ciclo, en un periodo de 24 horas y 50 minutos.

La marea mixta comprende dos pleamares y dos bajamares durante dos ciclos con periodos de 12 horas y 25 minutos cada uno, las amplitudes de ambas presentan diferencias notorias.

Dentro de los tipos de mareas mencionadas, existen a su vez dos variantes que se conocen como mareas vivas y mareas muertas, las cuales se deben a la fase de la luna.

La marea viva es la máxima amplitud que alcanza la onda en el mes, ocurriendo algún tiempo después de aparecida la luna llena o nueva.

La marea muerta es la máxima amplitud que alcanza la onda en el mes ocurriendo algún tiempo después que han aparecido los cuartos crecientes y menguantes.

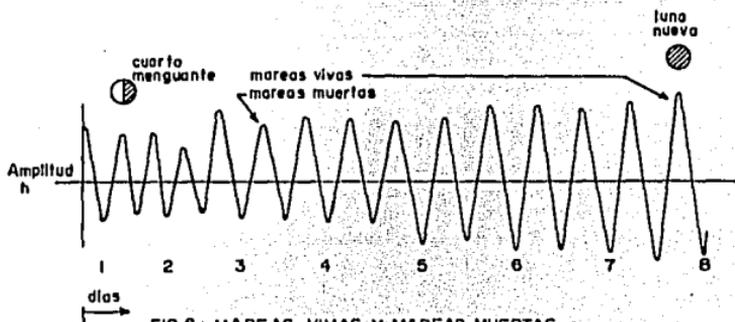


FIG.6 MAREAS VIVAS Y MAREAS MUERTAS

### 2.1.2 MAREAS DE TORMENTAS.

Se define a la marea de tormenta como el aumento ó disminución de nivel de agua arriba o abajo del nivel esperado, debido a la acción del esfuerzo del viento sobre la superficie del agua.

En algunas zonas costeras, sujetas a vientos ciclónicos o huracanados, es de vital importancia la consideración de los efectos que pueden producir a algunos proyectos específicos. En el caso de mareas de tormentas positivas (aumento) el viento sopla contra la costa considerada, y en el caso contrario (disminución) el viento sopla en la dirección opuesta.

Una expresión matemática expuesta por Bretschneider nos sirve para calcular la marea de tormenta.

$$S = \frac{CV^2 F \cos \phi}{H}$$

DONDE:

- S: Marea de Tormenta o Sobre elevación (H).
- C: Coeficiente =  $0.4 \times 10^6 \text{ seg}^2 / \text{m}$ .
- V: Velocidad del viento a 6 mts. arriba del nivel del mar (M/SEG.)
- F: Longitud del área de mar sobre la cual esta soplando el viento (M).
- $\phi$ : Angulo entre la dirección del viento y la línea del centro o eje de el área considerada.
- H: Profundidad promedio del área considerada medida normalmente a lo largo de "F".

### 2.1.3. MAREA HIDRAULICA.

Se denomina marea hidráulica al efecto que produce en la onda de marea al propagarse en un estrecho o en un Golfo que se angosta en su extremo. Un ejemplo de esto es el fenómeno que ocurre en el Golfo de California, en donde la amplitud

de la marea en la parte Norte es bastante mayor que la correspondiente en la comunicación con el Océano Pacífico.

#### 2.1.4 SISTEMA MAREOGRAFICO NACIONAL.

En México existe el sistema mareográfico nacional el cual desde al año de 1952 es operado por el Instituto de Geografía de la UNAM, contando en la actualidad con 20 estaciones mareográficas instaladas en los principales puertos; este servicio se encarga de la instalación, operación y mantenimiento — de las estaciones, así como de la interpretación de los mareogramas, la obtención de los planos de referencia y el pronóstico de los niveles esperados, para lo cual anualmente edita las tablas de predicción de mareas.

Estas tablas contienen las horas en las que se presentan las pleamares y las bajamares, así como la diferencia de niveles en relación a un plano de referencia; además presenta la ubicación geográfica de las estaciones y los diferentes niveles o planos generados por las mareas.

Los niveles generados por las mareas son los siguientes:

- a) Altura máxima registrada: Es el nivel más alto registrado en la estación debido a un fenómeno meteorológico.
- b) Pleamar máxima registrada (PMR): Es el nivel más alto registrado debido a las fuerzas de mareas periódicas.
- c) Nivel de pleamar media superior (NPMS): Promedio de las más altas de las dos pleamares diarias, durante el periodo considerado en la estación.
- d) Nivel de pleamar media (NPM): Promedio de todas las pleamares durante el periodo considerado, en cada estación.
- e) Nivel medio del mar (NMM): Es el promedio de las alturas horarias durante el periodo registrado en la estación.

- f) Nivel de media marea (MM): Plano equidistante entre la pleamar media y la bajamar media; se obtiene promediando estos valores.
- g) Nivel de bajamar media (NBM): Promedio de todas las bajamares durante el período considerado en la estación.
- h) Nivel de bajamar media inferior (NBMI): Promedio de la más baja de las dos bajamares diarias, durante el período considerado en la estación.
- i) Bajamar mínima registrada (BMR): Nivel más bajo registrado debido a las fuerzas de marea periódica.
- j) Altura mínima registrada: Nivel más bajo registrado en la estación debido al efecto de un fenómeno meteorológico.

La determinación de los niveles alcanzados por las mareas para este estudio se apoyo básicamente en dichas tablas, de las cuales se obtuvo la información siguiente:

Planos de mareas referidos al nivel de bajamar media inferior: Ref. 1.

|                                       |          |
|---------------------------------------|----------|
| Pleamar Máxima registrado -----       | 0.326 m. |
| Nivel de pleamar media superior ----- | 0.190 m. |
| Nivel de pleamar media -----          | 0.160 m. |
| Nivel medio del mar -----             | 0.090 m. |
| Nivel de media marea -----            | 0.089 m. |
| Nivel de baja mar -----               | 0.018 m. |
| Nivel de bajamar media inferior ----- | 0.000 m. |
| Bajamar mínima registrada -----       | 0.114 m. |

En base a este análisis de niveles se indujo a seleccionar una elevación de 0.30 mts. referida al N.B.M.I ésta elevación esta por encima del nivel de pleamar media superior y por debajo de la pleamar máxima registrada.

## 2.2. OLEAJE

Con la finalidad de describir el oleaje se idealiza la siguiente figura 7.

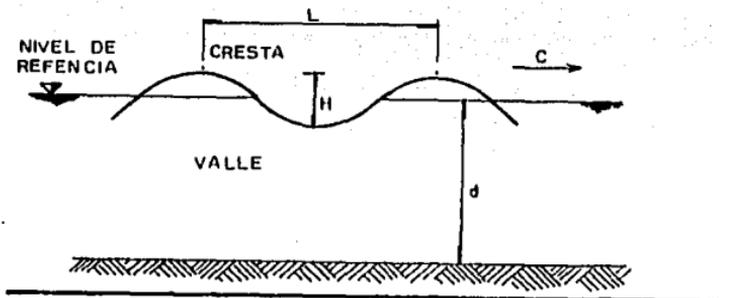


FIG. 7 ONDA DE OLEAJE IDEALIZADA

La altura de la ola ( $H$ ) se define como la distancia entre la cresta y el valle o seno de una ola determinada, por su parte la longitud ( $L$ ) es la distancia horizontal medida entre dos crestas o valles consecutivos. Otra característica importante de la onda de oleaje está dada por su período ( $T$ ), el cual se define como el tiempo que tardan en pasar por un punto fijo dos crestas o dos valles consecutivamente, la celeridad  $C$  de la onda, es la velocidad con la cual se desplaza la ola, es decir  $C = L/T$ .

Las ondas en el Océano son de una amplia gama de períodos. La onda de capilaridad es la que tiene el período más corto, siendo este menor de 0.07 seg., con longitud menor de 1.7 cm. y altura máxima entre 1 y 2 mm. la onda que tiene mayor concentración de energía es el oleaje producido por el viento, el cual tiene períodos máximos de alrededor de 20 seg. habiéndose registrado alturas máximas del orden de 30 mts.

Las ondas de largo período se asocian a los tsunamis, generados por temblores ocurridos en el Océano o por la erupción de algún volcán submarino (Período de algunos minutos hasta cerca de una hora); La onda o marea de tormenta, generada por éste tipo de perturbaciones meteorológicas; y la onda de marea astronómica con períodos de hasta más de 12 hrs.

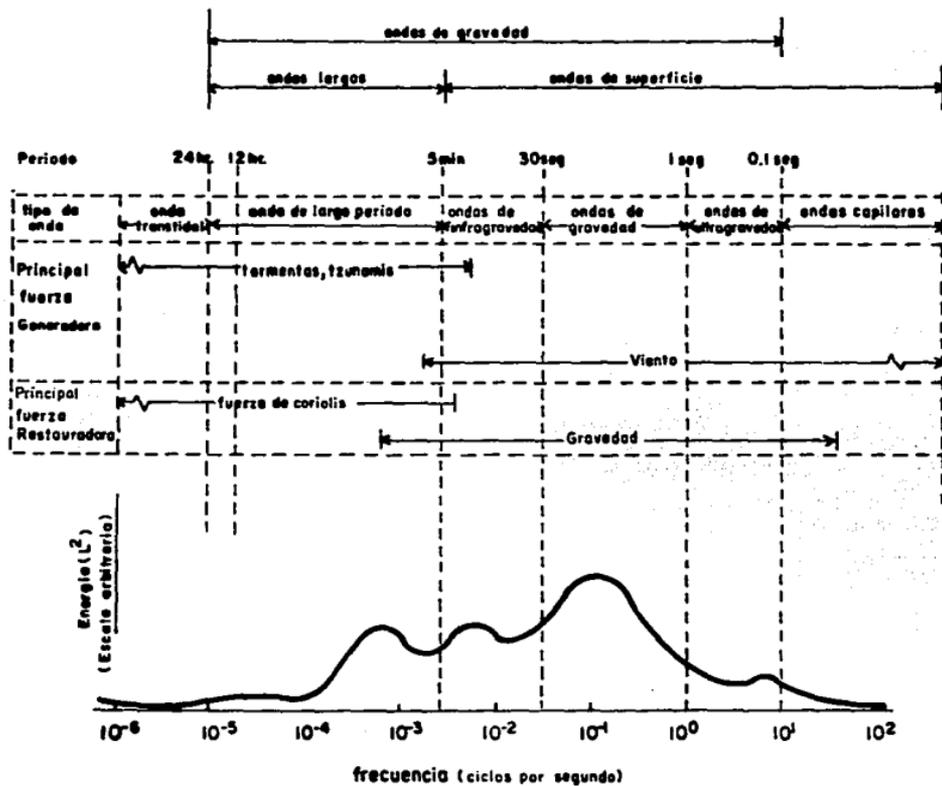


FIG. 8 CLASIFICACION DE LAS ONDAS

### 2.2.1. OLEAJE REAL

Al soplar el viento sobre la superficie del mar se genera un oleaje el cual se llama real. las olas formadas por el viento se conocen como ondas de viento (SEA), de tipo forzado o de tormenta. Cuando el oleaje esta libre de la acción del viento a las olas se les denomina como libres (SWELL).

El viento afecta una cierta zona del mar y se deben tomar en cuenta las dimensiones de esta zona (Fetch), el tiempo (duración) que actua el viento y su velocidad ya que ellas afectan el crecimiento de la ola. La primera zona donde se genera el oleaje se llama zona de generación que, generalmente, se presenta para la condición de aguas profundas. Fueron generadas y sus características son modificadas ya que la acción del viento no influye sobre ellas. Esta etapa del oleaje se realiza en una segunda zona llamada de decaimiento, en la cual las olas decrecen en altura ya que se separan por periodos. Por último al acercarse a la costa, las olas dejan de estar en aguas profundas y pasan a una tercera zona donde sufren modificaciones por efecto del fondo (a este efecto se le llama refracción).

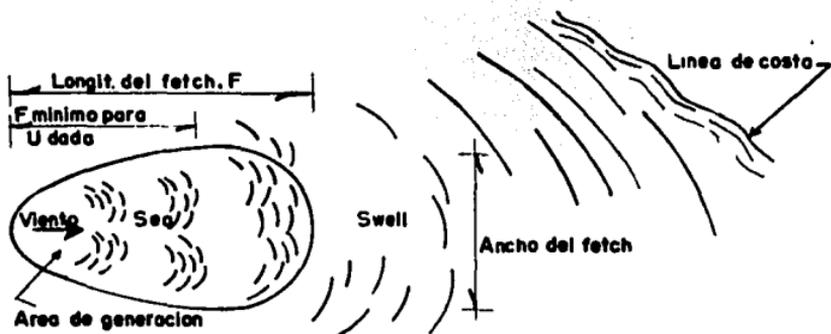


FIG. 9 DESARROLLO DE LAS OLAS DENTRO Y FUERA DE LA ZONA DE GENERACION

## 2.2.2 INFORMACION ESTADISTICA DEL OLEAJE.

La manera más confiable que existe para conocer las características del oleaje para un sitio determinado sería el realizar mediciones directas durante un lapso que se recomienda no sea menor a un año, para lo cual en la actualidad existen diferentes aparatos que permitan llevar a cabo. De esta forma podrían conocerse todas las variables que definirán al oleaje en el sitio en cuestión. Por ejemplo, a partir de una muestra de un determinado número de olas se estaría en posibilidad de definir la altura significativa  $H_{1/3}$ .

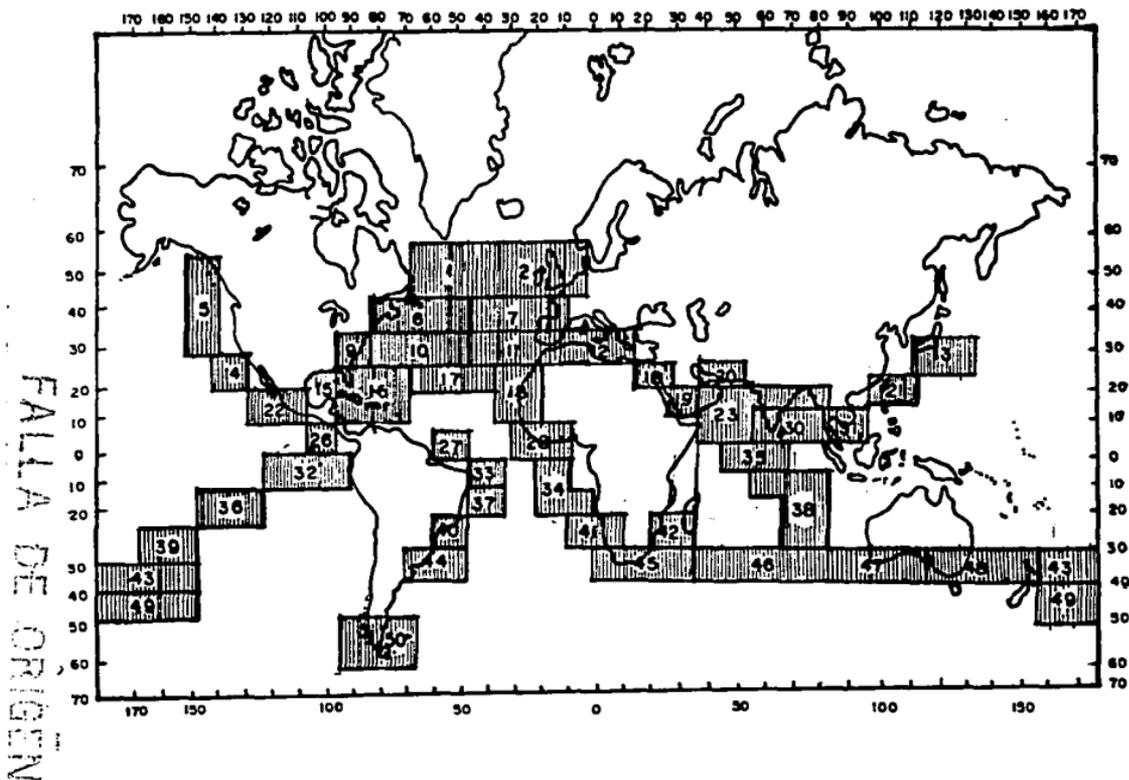
Sin embargo, la medición directa casi nunca es posible realizarla, bien sea por motivos de orden económico o por la necesidad de contar con datos de forma inmediata, por lo que es común hacer uso de fuentes de información que definen las variables de oleaje en cuanto a período y altura.

### OCEAN WAVE STATISTICS

Esta fuente de información fué editada en 1967 por laboratorio Nacional de Física, Ministerio de Tecnología de la Gran Bretaña y contiene los datos estadísticos del oleaje, estimados visualmente por varios voluntarios que navegarón en las rutas establecidas en todo el mundo durante los años 1953 a 1961.

Los datos reportados por los observadores son: Dirección, período y alturas de ola. De acuerdo a la captación de datos que realizarón, la información se presenta agrupada en diferentes zonas tal como se muestra en la sig. figura.

# ZONAS DEL OCEAN WAVE STATISTICS



La forma de presentación de los datos para cada zona es la siguiente:

- a) Régimen: anual, invierno (diciembre-febrero). primavera - (marzo-mayo), verano (junio-agosto) y otoño (septiembre-noviembre).
- b) Dirección: azimut con variaciones de  $10^\circ$  y datos agrupados en sectores de  $30^\circ$ .
- c) Periodos: se presentan los datos de acuerdo a la siguiente codificación.

| CODIGO | PERIODO (SGS.) |
|--------|----------------|
| 2      | Menor a 5      |
| 3      | 6 6 7          |
| 4      | 8 6 9          |
| 5      | 10 6 11        |
| 6      | 12 6 13        |
| 7      | 14 6 15        |
| 8      | 16 6 17        |
| 9      | 18 6 19        |
| 0      | 20 6 21        |
| 1      | Mayor a 21     |
| X      | Calmas         |

d) Alturas de acuerdo a la siguiente codificación.

| CODIGO | ALTURA ( m. ) |
|--------|---------------|
| 00     | 0.25          |
| 01     | 0.50          |
| 02     | 1             |
| 03     | 1.5           |
| 04     | 2             |
| 05     | 2.5           |
| 06     | 3             |
| 07     | 3.5           |
| 08     | 4             |
| 09     | 4.5           |
| 10     | 5.0           |
| 11     | 5.5           |
| 12     | 6             |
| 13     | 6.5           |
| 14     | 7             |
| 15     | 7.5           |
| 16     | 8             |
| 17     | 8.5           |
| 18     | 9             |
| 19     | 9.5           |
| 90     | 10            |
| 91     | 11            |
| 92     | 12            |
| 93     | 13            |
| 94     | 14            |
| 95     | 15            |
| 96     | 16            |
| 97     | 17            |
| 98     | 18            |
| 99     | 19            |

De acuerdo a la ubicación del Puerto de Xcaret, se determino que los oleajes que afectan a la zona, provienen de la dirección N, N 30° E, S 60° E, S 30°E y S, tomando en cuenta las tablas del Océan Wave Statistics para la zona 15, se calculo la altura de ola significativa (  $H_{1/3}$  ) y el periodo significativo (  $T_{1/3}$  ) para el régimen anual en cada una de las direcciones consideradas en las siguientes tablas se muestra el cálculo para la dirección N 60° E, realizando lo mismo para las demás direcciones se obtuvieron los resultados de  $H_{1/3}$  y  $T_{1/3}$  respectivamente los resultados se presentan en una tabla.

| CODIGO | H (m) | OBSERV. | FRECUENCIA |       | FRECUENCIA PONDERADA |
|--------|-------|---------|------------|-------|----------------------|
|        |       |         | %          | 1/3%  |                      |
| 00     | 0.25  | 68      | 11.37      |       |                      |
| 01     | 0.50  | 152     | 25.42      |       |                      |
| 02     | 1.0   | 209     | 33.85      | 4.06  | 4.06                 |
| 03     | 1.50  | 109     | 18.23      | 18.23 | 27.35                |
| 04     | 2.0   | 38      | 6.35       | 6.35  | 12.70                |
| 05     | 2.50  | 17      | 2.84       | 2.84  | 7.10                 |
| 06     | 3.0   | 5       | 0.84       | 0.84  | 2.52                 |
| 07     | 3.50  | 5       | 0.84       | 0.84  | 2.94                 |
| 08     | 4.00  | 1       | 0.17       | 0.17  | 0.68                 |
| SUMA   |       | 604     | 100.00     | 33.33 | 57.35                |

$$H_{1/3} = 1.72 \text{ m.}$$

$$H_{1/3} = \frac{\text{FRECUENCIA PONDERADA}}{\text{FRECUENCIA 1/3\%}}$$

| CODIGO | T (seg.) | OBSERV. | FRECUENCIA |       | FRECUENCIA PONDERADA |
|--------|----------|---------|------------|-------|----------------------|
|        |          |         | %          | 1/3%  |                      |
| 2      | 5        | 417     | 69.75      | 3.06  | 15.30                |
| 3      | 7        | 128     | 21.40      | 21.40 | 149.80               |
| 4      | 9        | 37      | 6.19       | 6.19  | 55.71                |
| 5      | 11       | 7       | 1.17       | 1.17  | 12.87                |
| 6      | 13       | 4       | 0.67       | 0.67  | 8.71                 |
| 7      | 15       |         |            |       |                      |
| 8      | 17       |         |            |       |                      |
| 9      | 19       | 1       | 0.17       | 0.17  | 3.23                 |
| 0      | 21       | 1       | 0.17       | 0.17  | 3.57                 |
| 1      | 22       | 3       | 0.50       | 0.50  | 11.00                |
| SUMA   |          | 598     | 100.00     | 33.33 | 260.19               |

$$T_{1/3} = \frac{\text{FRECUENCIA PONDERADA}}{\text{FRECUENCIA 1/3\%}}$$

Así mismo, para las demás direcciones se obtuvieron los resultados de H1/3 y T1/3 respectivamente los resultados los cuales se presentan en la siguiente tabla.

| DIRECCION | H 1/3 ( m ) | T 1/3 (seg.) |
|-----------|-------------|--------------|
| N         | 1.94        | 8.86         |
| N 30° E   | 1.72        | 8.34         |
| N 60° E   | 1.72        | 7.81         |
| E         | 1.75        | 8.19         |
| S 60° E   | 1.90        | 9.14         |
| S 30° E   | 1.75        | 9.48         |
| S         | 1.51        | 8.23         |

#### SEA AND SWELL CHARTS.

En este caso la información no refiere a las publicaciones denominadas " ATLAS OF SEA AND SWELL CHARTS " tanto del - - " NORTHEASTERN PACIFIC OCEAN " como del " NORTH ATLANTIC OCEAN ", ambas editadas por la U.S. NAVY OCEANOGRAPHIC OFFICE, WASHINGTON, D.C., mismas que fueron procesadas por el Departamento de Estudios y Laboratorios, Dirección de Obras Marítimas, Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Los datos presentados por esta fuente, obedecen a observaciones visuales del Estado del Mar realizadas desde embarcaciones durante un periodo de 10 años. Para su presentación el oleaje se agrupa en dos tipos, dando la siguiente definición para cada uno de ellos:

- OLEAJE LOCAL ( SKA ).- Como se mencionó en el capítulo anterior, son las olas generadas por vientos locales, mismas que son generalmente de periodos cortos, superficie irregular rápidamente cambiante que se desplaza en la misma dirección que el viento generador.

- OLAJE DISTANTE ( SWELL ).- Olas que han avanzado más allá de la influencia de los vientos generadores. Son más largos en periodos, de crestas redondeadas, más uniformes, de mayor altura y su dirección es independiente de la dirección del viento. ( Fig. 9 ).

Los datos del oleaje se presentan agrupando las observaciones realizadas en una rosa de oleaje correspondiente a una zona determinada. Para el caso de la República Mexicana corresponden 16 zonas de las que 10 son para el Pacífico y 6 para el Golfo de México y Mar Caribe.

En este Mapa ( Fig. 10 ), se puede observar que la zona a la cual pertenece Quintana Roo, es la zona 9 y además se concluye que las direcciones de oleaje que se presentan EN XCARET SON N, NE, E, SE.

Cada rosa de oleaje es una representación gráfica de la frecuencia mensual resultante de la acumulación de datos durante el periodo de observación.

Tanto el oleaje local como el distante, se dividen en tres rangos de altura de ola, las cuales aparecen en la siguiente tabla.

| TIPO DE OLAJE | R A N G O ( m ) |           |      |
|---------------|-----------------|-----------|------|
|               | BAJO            | MEDIO     | ALTO |
| Local         | 0.30-0.90       | 0.90-2.40 | 2.40 |
| Distante      | 0.30-1.82       | 1.82-3.65 | 3.65 |

En ambos tipos de oleajes son considerados como calmas a todas las alturas menores a 0.30 m.

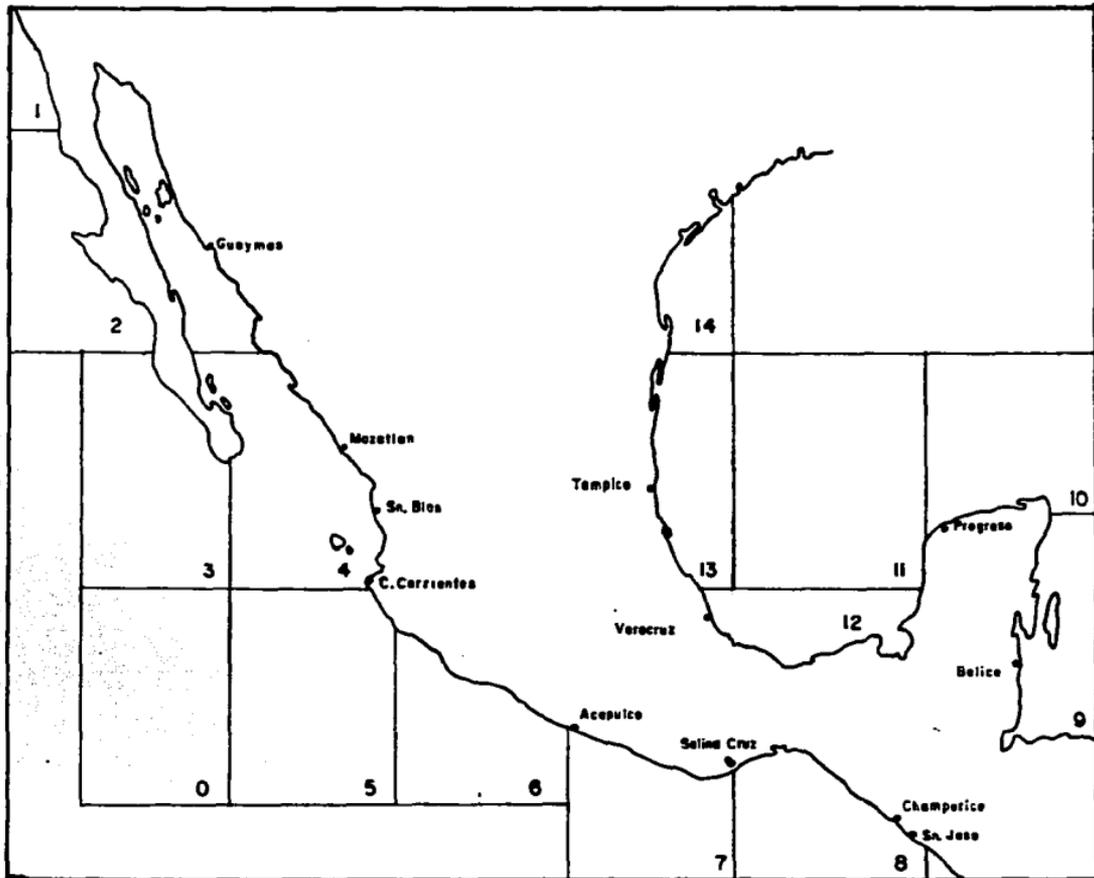


FIG. 10 ZONAS DEL SEA AND SWELL



Para cada una de las direcciones incidentes en la costa, se realizó el cálculo para determinar los porcentajes y alturas de ola significantes local y distante; primero en forma mensual y promediando después en forma anual, obteniéndose la siguiente tabla:

## OLEAJE LOCAL

| DIRECCION | PORCENTAJE | ALTURA (m) |
|-----------|------------|------------|
| N         | 6.75       | 0.798      |
| NE        | 30.58      | 2.124      |
| E         | 46.42      | 2.124      |
| SE        | 16.25      | 1.660      |

## OLEAJE DISTANTE

| DIRECCION | PORCENTAJE | ALTURA (m) |
|-----------|------------|------------|
| N         | 7.37       | 0.949      |
| NE        | 33.09      | 3.159      |
| E         | 46.06      | 3.084      |
| SE        | 13.28      | 1.807      |

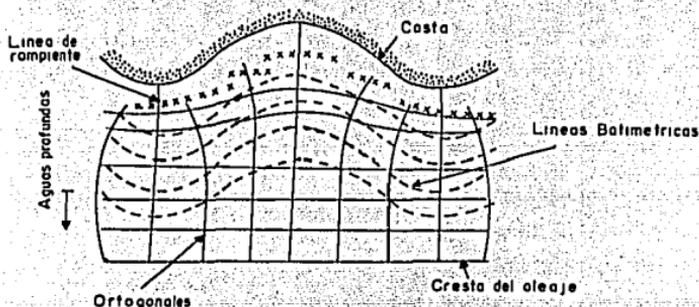
La obtención de datos para el caso en cuestión fueron obtenidos gracias a la Empresa de Consultoría Técnica, A.C., quien realizó mediciones para determinar las alturas y periodos del oleaje en la zona, midiendo alturas menores a 1.0 mts. y hasta de 6.0 mts. y periodos de 5 a 13 segundos.

Con la información estadística y la obtenida en el lugar, se realizó en 1988 un primer estudio de agitación en el Puerto, utilizando las direcciones NE, E, SE, y S, por ser las más frecuentes. Con los resultados obtenidos se llegó a la conclusión de que existe agitación considerable en la Dársena de Transbordadores; por lo que se decidió realizar un nuevo estudio exclusivamente --

en dicha Dársena, tomando únicamente las direcciones de oleaje SE Y S como las incidentes y las que provocan la agitación en la terminal. El estudio se realizó con las direcciones mencionadas y con altura de 1.00 mts. y 5.32 mts. con períodos de 5 y 13 segs. respectivamente.

#### REFRACCION DEL OLAJE

Conforme el oleaje se traslada de aguas profundas a aguas someras, el cambio de profundidad causa la disminución en la celeridad y el frente de ese oleaje se reorienta conforme a los contornos del fondo también llamadas líneas batimétricas, a ese efecto se le llama refracción del oleaje, el cual depende de la relación entre la profundidad y la longitud de onda ( $d/L$ ).



#### REFRACCION DE OLAJE

En el estudio de la refracción se supone que cuando una onda avanza hacia la playa, no existe dispersión lateral de energía a lo largo de su frente, es decir la energía transmitida permanece constante entre dos líneas ortogonales (trazadas perpendicularmente al frente de las ondas).

Dichas ortogonales pueden converger o diverger; para el primer caso se tiene un incremento de energía por unidad de área, y como consecuencia de ello un aumento en la altura de la ola.

por el contrario para el segundo caso se tiene una disminución de la energía por unidad de área y por tanto una reducción en la altura de la ola.

Para el diseño y construcción de estructuras y obras marítimas generalmente se necesitan conocer las alturas, periodos y direcciones del oleaje en la región costera. Para determinar dichos parámetros se requiere tomar en cuenta los efectos de refracción. Los cambios del oleaje debido a la refracción son comúnmente estimados mediante la construcción de diagramas de refracción en forma gráfica aunque también existen métodos aerofotográficos, los cuales son de uso común. Otro método para la construcción sucesiva de las crestas conforme el oleaje se desplaza hacia la costa. Una vez determinadas las posiciones sucesivas de la cresta de una ola, con trazadas líneas perpendiculares que unen a una cresta con otra. Estas líneas se conocen comúnmente como ortogonales. A la figura resultante en que se muestran las ortogonales y los frentes de ola se denominan diagramas de refracción.

Todas las metodologías para el análisis de refracción están basadas en el principio de la Ley de Snell, cuyas suposiciones son las siguientes:

- A) La energía entre dos ortogonales permanece constante.
- B) La dirección de avance de la onda es la perpendicular a su cresta en cada momento.
- C) La celeridad de onda en un punto en particular para un periodo determinado, depende únicamente de la profundidad en ese punto.
- D) Los cambios de la batimetría son graduales.
- E) Se desprecian los efectos de corrientes, vientos y reflexiones del oleaje incidente en la playa.

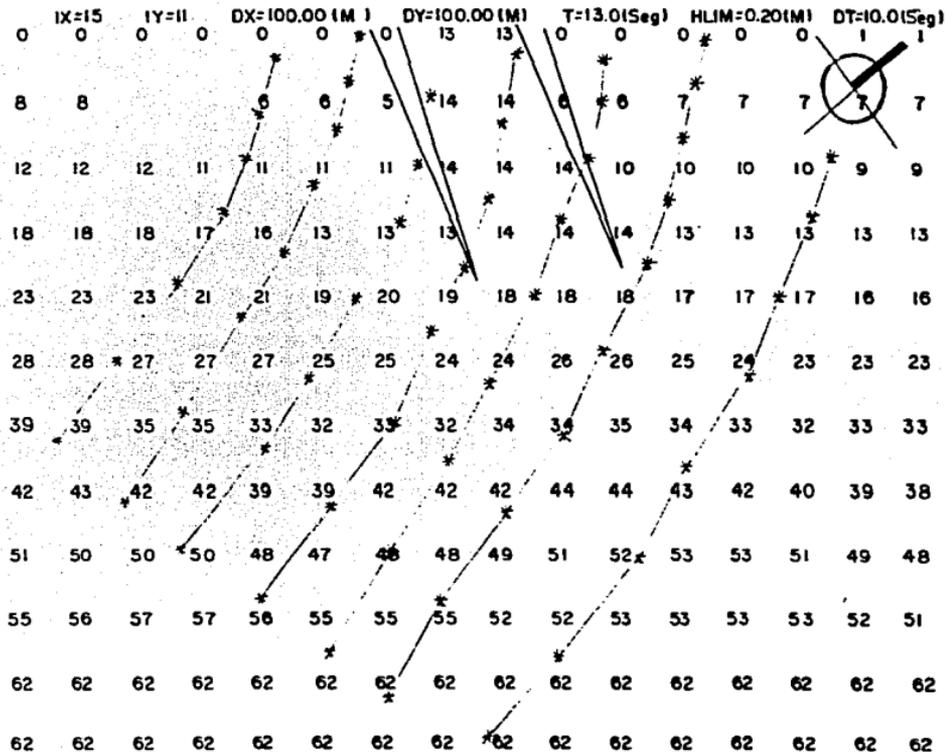
Para este caso en particular se realizó el análisis de la refracción del oleaje empleando un programa por computadora perteneciente al Departamento de Modelos Matemáticos del Laboratorio de Obras Marítimas. Partiendo de la batimetría de la

Zona en estudio y de los planos de refracción en aguas profundas hasta la batimetría de  $-15m$ , se realizarán estudios de refracción del oleaje, cubriendo las direcciones y periodos mencionados anteriormente. Como manera de simplificación, se presentan los planos sig. 1 y 2 obtenidos para dos direcciones y dos periodos; donde IX es el número de columnas, IY el número de renglones, DX es la separación de columnas en metros, AY es la separación entre renglones en metros, T período en segundos y DT es el intervalo de tiempo para que se dibujen los frentes de ola.

La importancia que se realice el análisis de refracción de oleaje radica principalmente en que gracias a ellas se podrá lograr la adecuada colocación de las ortogonales o canales de energía y el generador de oleaje para la reproducción del mismo en el modelo.

|    | IX=15 | IY=11 | DX=100.00 (M) |    | DY=100.00 (M) |    | T=13.0 (Seg) |    | HLIM=0.20 (M) |    | DT=10.0 (Seg) |    |
|----|-------|-------|---------------|----|---------------|----|--------------|----|---------------|----|---------------|----|
| 0  | 0     | 0     | 0             | 0  | 0             | 13 | 13           | 0  | 0             | 0  | 0             | 1  |
| 8  | 8     |       | 6             | 6  | 5             | 14 | 14           | 6  | 6             | 7  | 7             | 7  |
| 12 | 12    | 12    | 11            | 11 | 11            | 14 | 14           | 14 | 10            | 10 | 10            | 9  |
| 18 | 18    | 18    | 17            | 16 | 13            | 13 | 14           | 14 | 13            | 13 | 13            | 13 |
| 23 | 23    | 23    | 21            | 21 | 19            | 20 | 19           | 18 | 18            | 17 | 17            | 16 |
| 28 | 28    | 27    | 27            | 27 | 25            | 25 | 24           | 24 | 26            | 26 | 25            | 23 |
| 39 | 39    | 35    | 35            | 33 | 32            | 33 | 32           | 34 | 34            | 35 | 34            | 33 |
| 42 | 43    | 42    | 42            | 39 | 39            | 42 | 42           | 42 | 44            | 44 | 42            | 40 |
| 51 | 50    | 50    | 50            | 48 | 47            | 48 | 48           | 49 | 51            | 52 | 53            | 51 |
| 55 | 56    | 57    | 57            | 56 | 55            | 55 | 52           | 52 | 53            | 53 | 53            | 52 |
| 62 | 62    | 62    | 62            | 62 | 62            | 62 | 62           | 62 | 62            | 62 | 62            | 62 |
| 62 | 62    | 62    | 62            | 62 | 62            | 62 | 62           | 62 | 62            | 62 | 62            | 62 |

REFRACCION DEL MODELO FISICO DE XCARET  
PLANO I



REFRACCION DEL MODELO FISICO DE XCARET  
PLANO 2

## C A P I T U L O 3

### Proyecto del Modelo

#### 3.1 Teoría de Modelos.

La Ingeniería en muchas de sus ramas importantes recurre a la ayuda de modelos para la solución de problemas de diseño. Esta técnica adquiere particular importancia en el estudio de los fenómenos de la mecánica de fluidos, en la que debido a la complejidad de la configuración de los contornos o límites y de las características son muy a menudo inabordables por vía analítica. En estas circunstancias, se comprende fácilmente que sea más valiosa la investigación con modelos bajo condiciones controladas en un laboratorio.

Observando los resultados de varios diseños posibles, sometidos a una amplia gama de condiciones probables de encontrar en la práctica, es posible comparar sus méritos relativos y, en muchos casos, hacer útiles predicciones cuantitativas. Probablemente, esta investigación resultaría totalmente impracticable a escala real o, al menos, excesivamente costosa.

Los ensayos en modelos sirven, tanto a efectos de diseño, como para verificar las características de funcionamiento del aparato, máquina o sistema de tamaño natural que se investiga.

En la mayoría de los proyectos hidráulicos importantes, sino es que en todos, se llevan a cabo con las orientaciones obtenidas de los estudios con modelos.

Las investigaciones hidráulicas no resultan económicas de realizar, pero su costo es generalmente, solo una pequeña fracción de lo que supondría hacer las pruebas a tamaño natural, y a menudo se atenúa con las economías y perfeccionamientos derivados de los ensayos con modelos.

El aparato, máquina o sistema de tamaño natural que ha de ser investigado se denomina PROTOTIPO, y el modelo puede ser mayor, del mismo tamaño o, lo que es mucho más común, menor que el prototipo. Generalmente, la forma del modelo es como la del prototipo, aunque esto no es tan esencial como el que los esquemas del flujo sean semejantes en la zona a estudiar.

Para poder interpretar correctamente los resultados del modelo es primordial poseer un conocimiento claro de la teoría fundamental del fenómeno a investigar.

Todos los modelos que se construyen teniendo una sola escala lineal o sea que tanto para magnitudes verticales como para magnitudes horizontales se toma la misma escala de líneas, se llaman modelos no distorsionados o similares geoméricamente.

Cuando esto no sucede es decir que se tiene una escala para las magnitudes lineales, horizontales y otra diferente para magnitudes verticales lineales, a los modelos que con ellas se construyen se les llama modelos distorsionados.

### 3.2 Análisis Dimensional.

El análisis dimensional, es un método matemático útil para verificar ecuaciones, cambiar unidades, determinar un orden conveniente de las variables de una relación física y planear experimentos sistemáticos.

Por medio de un análisis dimensional se relacionan causas y efectos de diversos fenómenos que ocurren en una estructura semejante, así también en situaciones físicas en las que las variables ( magnitudes físicas ) que intervienen en un fenómeno físico, son conocidas, pero no así las relaciones entre ellas, sin embargo, con el apoyo del análisis dimensional, se puede representar el fenómeno como una relación entre un conjunto de grupos adimensionales de las variables.

A menudo, el análisis dimensional permite a un investigador el obtener resultados experimentales con una mínima cantidad de trabajo y con la máxima utilidad. Esto se realiza a través de una selección de las variables y parámetros que intervienen en el fenómeno.

En general, puede decirse que para obtener de manera correcta la expresión analítica de cualquier ley Física, deberán seguirse los pasos siguientes:

- a) Determinación juiciosa de todas las variables que intervienen en el fenómeno que se estudia.
- b) Establecimiento de la fórmula que exprese el fenómeno, con coeficientes indeterminados, por medio del análisis dimensional.
- c) Determinación experimental de los valores numéricos de los coeficientes.

Las características generales de las observaciones en la investigación de un fenómeno son: Cualitativas y Cuantitativas.

Las Cualitativas, identifican y describen adecuadamente el fenómeno, de tal manera que puedan distinguirse de cualquier otro. Estas características cualitativas, pueden escribirse en función de cantidades definidas llamadas magnitudes físicas fundamentalmente, principales o básicas, o de magnitudes físicas derivadas o secundarias.

El número de magnitudes consideradas como fundamentales, es el mínimo que necesita para dar una descripción coherente y sin ambigüedades del fenómeno. Por ejemplo, tomando como sistema de magnitudes fundamentalmente: la longitud (  $L$  ), la masa (  $M$  ) y el tiempo (  $T$  ), se establece que la magnitud fuerza (  $F$  ) tiene una fórmula dimensional igual a  $(MLT^{-2})$  llamando a los exponentes de cada una de las magnitudes, dimensiones.

Las características cuantitativas, por su parte, permiten conocer la extensión o grado de ocurrencia del mismo, y hacer comparaciones con elementos de la misma especie en base a otros más precisos llamados unidades. Las unidades de magnitudes principales son las unidades principales, las magnitudes secundarias son las unidades derivadas.

Una ecuación es dimensionalmente homogénea si su forma no depende del sistema de unidades que se use, además establece una igualdad dimensional en ambos miembros de la ecuación.

Por ejemplo, la ecuación del periodo de oscilación de un péndulo simple  $T=2\pi (L/G)^{1/2}$  es válida para cualquier sistema de unidades, puesto que ambos miembros tienen la misma ecuación dimensional  $( T ) = ( T^2 L^{-1} )^{1/2} = ( T )$ . Ahora, si la misma ecuación para el periodo de oscilación se expresa como  $T=1.11 ( L )^{1/2}$ , ésta es válida únicamente para el sistema de unidades inglesas, por lo tanto, no es una ecuación dimensionalmente homogénea.

El ejemplo anterior se distinguió de una manera sencilla una ecuación dimensionalmente homogénea de otra que no lo es, para el mismo fenómeno; en cambio, si se desea encontrar la ecuación que fija un fenómeno a partir de una cantidad de premisas dadas, cumpliendo con la condición de homogeneidad, representa un problema complicado.

Para resolver este último caso se utilizan métodos como el criterio  $\Pi$  ó de Buckingham, mismo que permite en forma matemática establecer la ecuación dimensional homogénea que gobierna un fenómeno físico específico.

Es importante, antes de explicar el criterio de Buckingham, mencionar las dimensiones de magnitudes físicas usadas en mecánica de fluidos.

| <u>MAGNITUDES</u>     | <u>SIMBOLO</u> | <u>DIMENSIONES</u>               |
|-----------------------|----------------|----------------------------------|
| Longitud              | l              | L                                |
| Tiempo                | t              | T                                |
| Masa                  | m              | M                                |
| Fuerza                | F              | MLT <sup>-2</sup>                |
| Velocidad             | V              | ML <sup>-1</sup> T <sup>-1</sup> |
| Aceleración           | a              | LT <sup>-2</sup>                 |
| Area                  | A              | L <sup>2</sup>                   |
| Caudal                | Q              | L <sup>3</sup> T <sup>-1</sup>   |
| Presión               | P              | ML <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup> |
| Gravedad              | g              | LT <sup>-2</sup>                 |
| Densidad              | $\rho$         | ML <sup>-3</sup>                 |
| Peso específico       | $\gamma$       | LN <sup>-2</sup> T <sup>-3</sup> |
| Viscosidad dinámica   | $\mu$          | LN <sup>-1</sup> T <sup>-1</sup> |
| Viscosidad cinemática | $\nu$          | L <sup>2</sup> T <sup>-1</sup>   |
| Tensión superficial   | $\sigma$       | MT <sup>-2</sup>                 |
| Módulo de elasticidad | E              | ML <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup> |

3.2.1, TEOREMA  $\pi$  O DE BUCKINGHAM

El teorema de Pi establece que para un fenómeno físico donde intervienen N magnitudes o parametros dimensionales físicos, estos se relacionan mediante una ecuación homogénea (ley física) con la forma:

$$f(A, B, C, \dots, N) = 0 \tag{1}$$

en donde dichas magnitudes físicas son expresadas en términos de a, b, c, ... m dimensiones fundamentales, pudiendo reducirse la relación funcional a otra nueva función de la forma:

$$f(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots, \pi_{n-r}) = 0 \tag{2}$$

en donde  $\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots, \pi_{n-r}$  son parámetros adimensionales, n es el número de magnitudes físicas que intervienen en el fenómeno y r es el rango de la matriz dimensional del sistema.

Para la obtención de los parámetros adimensionales y con ellos la ley física correspondiente, se toman en cuenta las magnitudes fundamentales, longitud (L), masa (M), y tiempo (T).

Las dimensiones de las N magnitudes físicas que intervienen en la ecuación (1), en función de las tres magnitudes fundamentales L, M y T son:

$$\begin{aligned} [A] &= L^{a_1} M^{a_2} T^{a_3} \\ [B] &= L^{b_1} M^{b_2} T^{b_3} \\ [C] &= L^{c_1} M^{c_2} T^{c_3} \end{aligned} \tag{3}$$

Las dimensiones en forma de matriz:

$$\begin{matrix} & \begin{matrix} A & B & C & \dots & N \end{matrix} \\ \begin{matrix} L \\ M \\ T \end{matrix} & \begin{bmatrix} a_1 & b_1 & c_1 & \dots & n_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 & \dots & n_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 & \dots & n_3 \end{bmatrix} \end{matrix} \tag{4}$$

Llamandosele a este arreglo "matriz dimensional" del sistema, la cual tiene un rango r.

Un producto adimensional cualquiera de la ecuación (2) quedará expresado en función de las n magnitudes físicas por:

$$\Pi_n = [A]^{X_1} [B]^{X_2} [C]^{X_3} \dots [N]^{X_n} \quad (5)$$

pero también se puede expresar en función de las magnitudes fundamentales, por lo tanto la expresión (5) podrá escribirse:

$$\Pi_n = [L^{a_1} M^{a_2} T^{a_3}]^{X_1} [L^{b_1} M^{b_2} T^{b_3}]^{X_2} [L^{c_1} M^{c_2} T^{c_3}]^{X_3} \dots \dots \dots [L^{n_1} M^{n_2} T^{n_3}]^{X_n} \quad (6)$$

ordenando los exponentes de la ecuación (6) se tiene:

$$\Pi_n = [L^{a_1 x_1 + b_1 x_2 + c_1 x_3 + \dots + n_1 x_n}] [M^{a_2 x_1 + b_2 x_2 + c_2 x_3 + \dots + n_2 x_n}] [T^{a_3 x_1 + b_3 x_2 + c_3 x_3 + \dots + n_3 x_n}] \quad (7)$$

para que sea adimensional los exponentes de cada una de las variables deberán ser iguales a cero.

$$\begin{aligned} a_1 x_1 + b_1 x_2 + c_1 x_3 + \dots + n_1 x_n &= 0 \\ a_2 x_1 + b_2 x_2 + c_2 x_3 + \dots + n_2 x_n &= 0 \\ a_3 x_1 + b_3 x_2 + c_3 x_3 + \dots + n_3 x_n &= 0 \end{aligned} \quad (8)$$

y como  $m = 3$  se tendrá un sistema de tres ecuaciones homogéneas con n incógnitas, que resolviendo éste, se obtienen los valores de  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$  y sustituyéndolos en la expresión (5) se obtiene el conjunto de valores de los parámetros adimensionales.

Para aplicar el teorema  $\Pi$  se obtendrán los números adimensionales de mayor importancia en la mecánica de fluidos.

Primero se analizará el caso en que el fenómeno predominante en un flujo sea la tensión superficial ( $\sigma$ ). Como un resultado de la observación experimental de éste caso, se han determinado las magnitudes físicas que influyen en él, siendo las siguientes:

Tensión Superficial ( $\sigma$ )  
 Velocidad de Flujo ( $v$ )  
 Masa específica del flujo ( $\rho$ )  
 Longitud ( $L$ )

En base a esto la ecuación homogénea se puede definir como:

$$f(\sigma, v, \rho, L) = 0 \quad (9)$$

Las dimensiones de cada magnitud serán:

$$\begin{aligned} [\sigma] &= [M T^{-2}] \\ [v] &= [L T^{-1}] \\ [\rho] &= [M L^{-3}] \\ [L] &= [L] \end{aligned} \quad (10)$$

La matriz dimensional de la función es:

$$\begin{array}{c} L \\ M \\ T \end{array} \begin{bmatrix} \sigma & v & \rho & L \\ 0 & 1 & -3 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ -2 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (11)$$

Cuyo rango es  $r = 3$ ; por lo tanto, el número de parámetro dimensionales será:

$n - r = 4 - 1 = 3$  y se tiene:

$$\pi = \sigma^{x_1} v^{x_2} \rho^{x_3} L^{x_4} \quad (12)$$

que expresa en función las magnitudes fundamentales quedara:

$$\Pi = [MT^2] [LT^1] [ML^3] [L] \quad (13)$$

ordenando los exponentes:

$$(14)$$

el sistema quedaría:

$$x_2 - 3x_3 + x_4 = 0 \quad (15)$$

$$x_1 + x_3 = 0 \quad (16)$$

$$-2x_1 - x_2 = 0 \quad (17)$$

Como existen tres ecuaciones con cuatro incógnitas, el grado de indeterminación será  $4-3=1$ , por lo que se le da valor a una incógnita:

$$\text{si } x_1 = -1$$

$$\text{de (16) se tendrá } x_3 = -x_1 = 1$$

$$\text{de (17) se tendrá } x_2 = 2x_1 = 2$$

y sustituyendo estos valores en (15) se obtiene:

$$x_4 = 1$$

ahora sustituyendo estos valores en la ecuación (12):

$$\Pi = \sigma^{-1} v^2 L = \frac{v^2 \rho L}{\sigma} = W \quad (18)$$

a éste parámetro se le conoce como número de Weber (W) y se conserva constante en el modelo y prototipo, serán semejantes los efectos debidos a la tensión superficial.

De una manera semejante, si se supone que el fenómeno preponderante en un fluido es debido a las ondas de presión y aplicando el mismo análisis se obtiene:

$$f(E, v, \rho) = 0 \quad (19)$$

donde:

E = Módulo de elasticidad

v = Velocidad

\rho = Masa específica

Las dimensiones de cada magnitud serán:

$$\begin{aligned} [E] &= [M L^{-1} T^{-2}] \\ [v] &= [L T^{-1}] \\ [\rho] &= [M L^{-3}] \end{aligned} \quad (20)$$

La matriz dimensional del sistema quedara:

$$\begin{array}{ccc} & E & v & \rho \\ L & \begin{bmatrix} -1 & 1 & -3 \end{bmatrix} \\ M & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ T & \begin{bmatrix} -2 & -1 & 0 \end{bmatrix} \end{array} \quad (21)$$

Cuyo rango es  $r = 2$  y  $n = 3$ , por lo tanto el número de parámetros adimensionales será:

$$3 - 2 = 1$$

y se tendrá:

$$\pi = E^{x_1} v^{x_2} \rho^{x_3} \quad (22)$$

expresando esto en función de las magnitudes fundamentales se tiene:

$$\pi = [M L^{-1} T^{-2}]^{x_1} [L T^{-1}]^{x_2} [M L^{-3}]^{x_3} \quad (23)$$

ordenando los exponentes quedaría:

$$\pi = L^{(x_1 + x_2 - 3x_3)} M^{(x_1 + x_3)} T^{(-2x_1 - x_2)} \quad (24)$$

luego entonces:

$$\begin{aligned} -x_1 + x_2 - 3x_3 &= 0 \\ x_1 + x_3 &= 0 \\ -2x_1 - x_2 &= 0 \end{aligned} \quad (25)$$

es un sistema lineal con tres ecuaciones y tres incógnitas, que resolviendolo queda:

$$\begin{aligned} x_1 &= -1 \\ x_2 &= 2 \\ x_3 &= 1 \end{aligned}$$

substituyendo estos valores en la ecuación ( 22 ):

$$\pi = E' \sqrt{2\rho} = \frac{\rho}{E} v^2 = C \quad ( 26 )$$

esta ecuación es conocida como el número de Cauchy (c).

### 3.3 TEORÍA DE LA SIMILITUD.

Los modelos para que reúnan las cualidades que permitan transferir las observaciones resultados y conclusiones a su prototipo, es necesario que los sistemas sean hidráulicamente semejantes. Ello incluye semejanza geométrica, cinemática y dinámica.

#### a) Similitud Geométrica.

La similitud geométrica es similitud de forma. — La propiedad característica de los sistemas geoméricamente similares es la relación de cualquier longitud en un sistema con respecto a la longitud correspondiente en el otro sistema, es en todas partes igual. Sin embargo, la similitud geométrica perfecta no siempre es fácil de obtener. No solo debería ser la forma general del modelo geoméricamente similar a la del prototipo, sino que también deberían ser geoméricamente similares a las inevitables rugosidades de la superficie.

#### b) Similitud Cinemática.

La similitud cinemática es similitud de movimiento. Esto implica similitud de longitudes (esto es, similitud geométrica) y en adición, similitud de intervalos de tiempo. Las velocidades y aceleraciones en puntos homólogos y para tiempo homólogos en los dos sistemas, guardan la misma relación. De igual forma, las correspondientes direcciones del movimiento son iguales en ambos sistemas.

#### c) Similitud dinámica.

La similitud dinámica es similitud de fuerzas. Si dos sistemas son dinámicamente similares, entonces las magnitudes de las fuerzas en los puntos similarmente localizados en cada sistema, se encuentran en una relación fija.

Para comparar los resultados obtenidos con un sistema de flujo con los de otro sistema, es necesario que

el comportamiento del fluido sea similar en los dos sistemas, esto es, los flujos deben de ser cinemáticamente similares y por lo tanto geoméricamente similares.

Las fuerzas que intervienen en la similitud dinámica son:

- 1.- La fuerza de gravedad.
- 2.- La fuerza causada por la diferencia de presiones.
- 3.- La fuerza de viscosidad
- 4.- La fuerza de la elasticidad. Es nula en un fluido incomprensible.
- 5.- La tensión superficial.

### 3.4. LEYES DE SIMILITUD.

Las expresiones matemáticas que sirven de base para la construcción, operación y aplicación de las respectivas conclusiones al prototipo, en un modelo cualquiera, se conocen como "leyes de similitud" y son las siguientes:

- a) Ley de similitud de Reynolds
- b) Ley de similitud de Euler
- c) Ley de similitud de Froude
- d) Ley de similitud de Weber
- e) Ley de similitud de Cauchy

Las tres primeras expresiones se obtienen a partir de las ecuaciones para fluidos no perfectos de Navier-Stokes; y las dos restantes valiéndose del teorema de Buckingham, ya obtenidas anteriormente.

Para encontrar las tres primeras, se obtendrán en primer lugar las ecuaciones de Euler y a partir de ellas las de Navier-Stokes.

Imaginando un sistema de ejes coordenados en el espacio, y refiriendo a él un punto fijo localizado dentro de un volumen cualquiera de un fluido ideal (carente de viscosidad) en movimiento, y denominado con X, Y, Z las coordenadas de dicho punto, se considera que las variaciones de velocidad que experimenta el fluido al pasar por ese punto son función del tiempo de fuerzas proporcionales a su masa.

En general la velocidad  $V$  y por lo tanto sus componentes  $V_x$   $V_y$   $V_z$  en cada punto del fluido estarán en función del punto que se trate y del tiempo que se considere.

$$\begin{aligned} V_x &= f(x, y, z, t) \\ V_y &= f(x, y, z, t) \\ V_z &= f(x, y, z, t) \end{aligned} \quad (27)$$

simplificando, se harán los cálculos necesarios solamente en la dirección X y de manera análoga para las direcciones Y, Z.

En el punto considerado  $(X, Y, Z)$  las ecuaciones (27) dan la variación de la velocidad con el tiempo en ese punto, y por definición de diferencial total se tiene que:

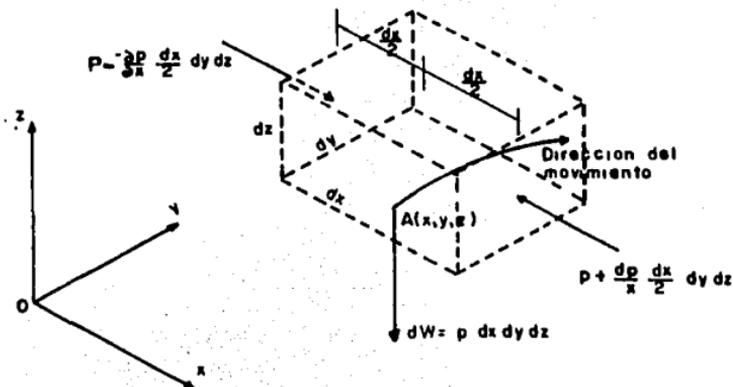
$$dV_x = \frac{\partial V_x}{\partial t} dt + \frac{\partial V_x}{\partial x} dx + \frac{\partial V_x}{\partial y} dy + \frac{\partial V_x}{\partial z} dz \quad (28)$$

dividiendo los dos miembros de la ecuación (28) por  $dt$  se tiene la aceleración en el punto.

$$\frac{dV_x}{dt} = \frac{\partial V_x}{\partial t} + V_x \frac{\partial V_x}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_x}{\partial y} + V_z \frac{\partial V_x}{\partial z} \quad (29)$$

yo que :  $\frac{dx}{dt} = V_x$        $\frac{dy}{dt} = V_y$        $\frac{dz}{dt} = V_z$

A ese volúmen cualquiera que se está analizando se puede idealizar como un paralelepipedo diferencial rectangular, con sus lados paralelos a los ejes, que miden  $dx$ ,  $dy$  y  $dz$  respectivamente, y considerando al punto  $A(X, Y, Z)$  en el centro del mismo.



VOLUMEN IDEALIZADO

Se observa en la figura que  $p = f(x, y, z)$  es la presión en el punto A. Si en el centro la presión es  $p$  en la cara vertical izquierda será:

$$P - dP = P - \frac{\partial P}{\partial x} \frac{dx}{2}$$

y en la cara vertical derecha:

$$P + dP = P + \frac{\partial P}{\partial x} \frac{dx}{2}$$

En la figura anterior podemos ver que:

- Sobre las seis caras del paralelepípedo actúa la fuerza debida a la presión. Por claridad en la figura solamente se han indicado las fuerzas debidas a la presión que actúa sobre las caras normales al eje X.
- El eje Z es vertical hacia arriba; por lo tanto sobre el paralelepípedo actúa la fuerza de gravedad  $dw$  en la dirección negativa del eje Z, como se indica en la figura, siendo igual a la masa del paralelepípedo por la aceleración de la gravedad.

$$dw = \rho \, dx \, dy \, dz \, g \quad (30)$$

La segunda Ley de Newton ( Fuerza = Masa x Aceleración) según el eje X, siendo la masa del paralelepípedo  $dm = \rho dx dy dz$ , proporciona la siguiente ecuación:

$$\rho \, dx \, dy \, dz \frac{dV_x}{dt} = (P - \frac{\partial P}{\partial x} \frac{dx}{2}) \, dy \, dz - (P + \frac{\partial P}{\partial x} \frac{dx}{2}) \, dy \, dz \quad (31)$$

Dividiendo ambos miembros por la masa del paralelepípedo  $\rho dx dy dz$  y simplificado se tiene:

$$\frac{dV_x}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} \quad (32)$$

Análogamente para el eje Y. En la ecuación correspondiente al eje Z se ha de introducir en el segundo miembro la fuerza debida a la gravedad, indicada en la fig.:

$$-g \rho \, dx \, dy \, dz$$

con lo que se obtienen las tres ecuaciones siguientes:

$$\begin{aligned} \frac{dV_x}{dt} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} \\ \frac{dV_y}{dt} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} \\ \frac{dV_z}{dt} &= -g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} \end{aligned} \quad (33)$$

A este conjunto de ecuaciones se les conoce con el nombre de ecuaciones de Euler para fluidos perfectos pero para poder aplicarlas a un caso más general, es decir para un fluido real, por lo tanto viscoso, es necesario utilizar las ecuaciones de Navier - Stokes, las cuales hacen intervenir la viscosidad cinemática, que sumada a las ecuaciones de Euler resultan las siguientes ecuaciones más generales.

$$\begin{aligned} \frac{dV_x}{dt} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \nabla^2 V_x \\ \frac{dV_y}{dt} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \nabla^2 V_y \\ \frac{dV_z}{dt} &= -g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \nu \nabla^2 V_z \end{aligned} \quad (34)$$

donde:

$$\begin{aligned} \nabla^2 &= \text{operador laplaciano} = \left( \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) \\ \nu &= \text{viscosidad cinemática.} \end{aligned}$$

que son los terminos desconocidos hasta ahora.

Por facilidad se supondrá que existe escurrimiento en una sola dirección y preferentemente en la dirección del eje Z, donde la única fuerza externa actuante es la gravedad.

$$\frac{dV_z}{dt} = -g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \nu \left( \frac{\partial^2 V_z}{\partial z^2} \right) \quad (35)$$

simplificando el término de la izquierda:

$$\frac{dVz}{dt} = \frac{dVz}{dt} \frac{dz}{dz} = Vz \frac{dVz}{dz}$$

sustituyendo esto en la ecuación ( 35 )

$$Vz \frac{dVz}{dz} = -g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \nu \left( \frac{\partial^2 Vz}{\partial z^2} \right) \quad ( 36 )$$

Denotando con subíndice p todo lo relativo al prototipo y con subíndice m lo relativo al modelo, la ecuación ( 36 ) referida al modelo será:

$$V_{zm} \frac{dV_{zm}}{dz_m} = -g_m - \frac{1}{\rho_m} \frac{\partial P_m}{\partial z_m} + \nu_m \left( \frac{\partial^2 V_{zm}}{\partial z_m^2} \right) \quad ( 37 )$$

y para que esta misma ecuación pueda expresar el comportamiento del prototipo, deba multiplicarse cada magnitud física por la escala correspondiente:

$$\left( \frac{V_e^2}{L_e} \right) V_{zm} \frac{dV_{zm}}{dz_m} = -(g_e) g_m - \left( \frac{1}{\rho} \frac{P_e}{L_e} \right) \frac{1}{\rho_m} \frac{\partial P_m}{\partial z_m} + \left( \nu_e \frac{V_e}{L_e} \right) \nu_m \left( \frac{\partial^2 V_{zm}}{\partial z_m^2} \right) \quad ( 38 )$$

Suponiendo que en el fenómeno por estudiar fueran despreciables los efectos relativos a la presión y a la viscosidad, la ecuación ( 38 ) quedaría:

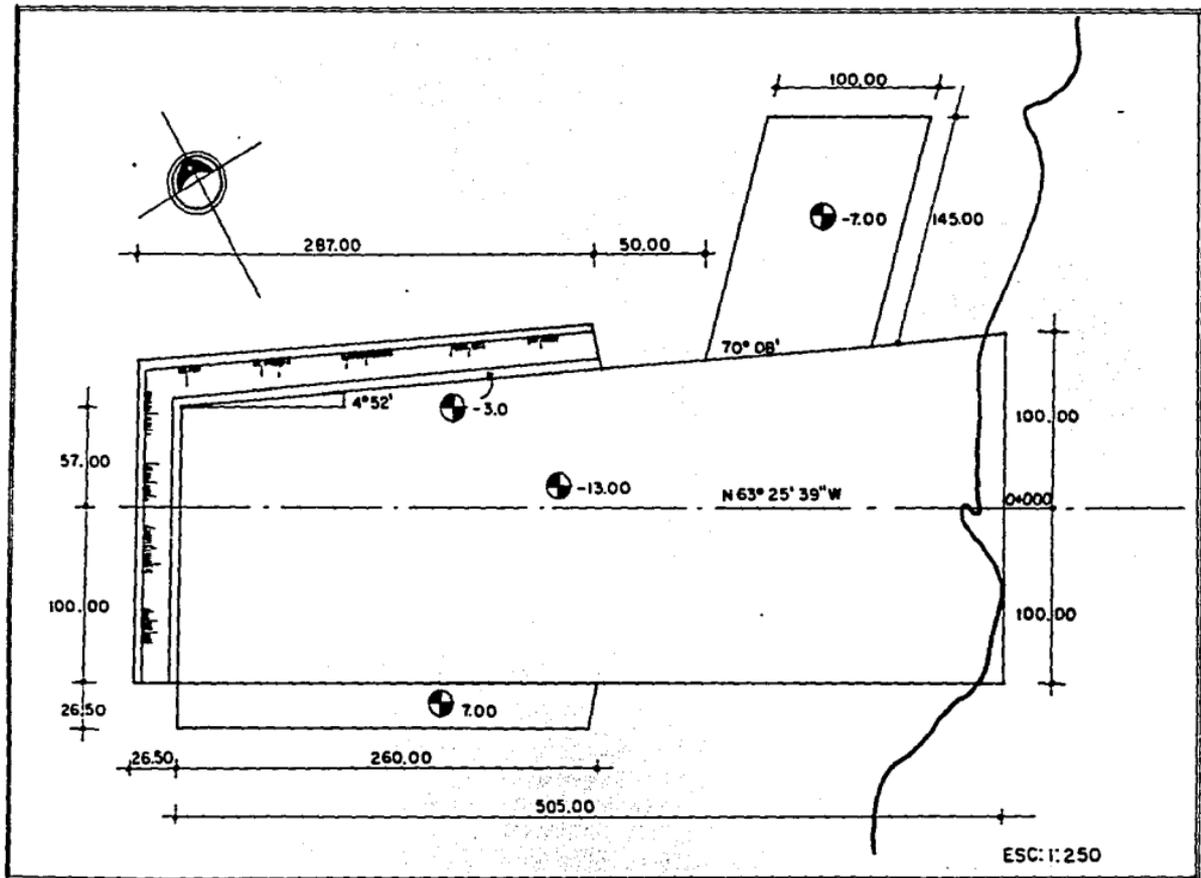
$$\left( \frac{V_e^2}{L_e} \right) V_{zm} \frac{dV_{zm}}{dz_m} = -(g_e) g_m \quad ( 39 )$$

Dado que las escalas son constantes, para que la ecuación ( 39 ) sea cierta, se debe cumplir que:

$$\frac{V_e^2}{L_e} = g_e$$

por lo que :

$$\frac{V_e^2}{g_e L_e} = 1 \quad \text{ó} \quad \frac{V_e}{\sqrt{g_e L_e}} = 1 \quad ( 40 )$$



PROTGIPD

expresión que corresponde a la Ley de Similitud de Froude; la cual indica que para que los efectos debidos a la gravedad sean semejantes en prototipo y modelo, deberán tener éstos igual número de Froude. Aplicando la definición de escala a la ecuación ( 40 ) se tiene:

$$\sqrt{\frac{\frac{V_p}{V_m}}{\frac{g_p L_p}{g_m L_m}}} = 1 \text{ entonces } \frac{V_p}{\sqrt{g_p L_p}} = \frac{V_m}{\sqrt{g_m L_m}}$$

Si ahora, lo que se supone despreciable para el fenómeno en estudio, son los efectos debidos a la presión y a la gravedad, la ecuación ( 38 ) quedaría:

$$\left( \frac{V_e^2}{L_e} \right) V_{zm} \frac{dV_{zm}}{dz_m} = (\nu_e \frac{V_e}{L_e^2}) \nu_m \frac{\partial^2 V_{zm}}{\partial z^2} \quad ( 41 )$$

y por un razonamiento análogo al caso anterior, se deberá cumplir que:

$$\frac{V_e^2}{L_e} = \nu_e \frac{\nu_e}{L_e^2}$$

por lo que:

$$\frac{V_e L_e}{\nu_e} = 1 \quad ( 42 )$$

Esta expresión corresponde a la Ley de Similitud de Reynolds, que indica que para que sean semejantes los efectos debidos a la viscosidad en modelo y prototipo, deberá conservarse en ambos el mismo número de Reynolds. Aplicando la definición de escala a la ecuación ( 42 ) se tiene:

$$\frac{\frac{V_p L_p}{V_m L_m}}{\frac{V_p}{V_m}} = 1 \text{ entonces } \frac{V_p L_p}{V_p} = \frac{V_m L_m}{V_m} \quad ( 43 )$$

Si ahora se desprecia el efecto debido a la gravedad y la viscosidad, la ecuación ( 38 ) quedará:

$$\left( \frac{V_e^2}{L_e} \right) V_{z_m} \frac{dV_{z_m}}{dz_m} = \left( \frac{1}{\rho_e} \frac{\rho_e}{L_e} \right) \left( - \frac{1}{\rho_m} \frac{\partial p_m}{\partial z_m} \right) \quad ( 44 )$$

también se deberá cumplir que:

$$\frac{V_e^2}{L_e} = \frac{1}{\rho_e} \frac{\rho_e}{L_e}$$

por lo que:

$$\frac{V_e^2 \rho_e}{\rho_e L_e} = 1 \quad ( 45 )$$

si la presión es igual a la fuerza entre área

$$\rho_e = \frac{F_e}{L_e^2} \quad ( 46 )$$

sustituyendo la ecuación ( 46 ) en la ecuación ( 45 ) la cual queda:

$$\frac{V_e^2 \rho_e L_e^2}{F_e} = 1 \quad ( 47 )$$

expresión que se conoce como Ley de Similitud Euler, la cual indica que para que sean semejantes en prototipo y modelo los efectos debido a la presión se deberá conservar constante en ambos el número de Euler. Aplicando la definición de escala a la ecuación ( 21 ):

$$\frac{V_p^2 \rho_p L_p^2}{V_m^2 \rho_m L_m^2} = 1 \text{ entonces } \frac{V_p \rho_p L_p}{F_p} = \frac{V_m \rho_m L_m}{F_m}$$

### 3.5 CONSTRUCCION DEL MODELO.

Es importante aclarar que la persona que desarrolla el presente trabajo de tesis no participó en la construcción del modelo físico, utilizando para el estudio del problema en cuestión dicha construcción corrió a cargo del Laboratorio de la Dirección General de Obras Marítimas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, por lo que se mencionará de una manera muy general lo referente a la construcción de esto.

El lugar asignado para construir el modelo hidráulico de la Terminal de Transbordadores de Xcaret Quintana Roo, se encuentra ubicado en la nave cubierta de la Sala No. 2 de modelos del Laboratorio de la Dirección General de Obras Marítimas, es un tanque el cual cuenta con un sistema de alimentación y descarga de agua, energía eléctrica e iluminación artificial.

Ubicado estratégicamente en el interior del tanque, se construyeron las dársenas y la configuración del fondo marino del puerto, formando los muros a base de tabique rojo recocido junteado con mortero cemento-arena en una proporción de 1.3. En el interior del muro, se colocó piedra de tezóntle, de diámetro máximo de 20 cm. protegiendo estas con tela de gallinero, para hacer con esto la función de taludes amortiguadores que eviten la reflexión de oleaje ajena a la agitación en el puerto.

Respecto a la configuración batimétrica, el modelo se utilizó arena compactada, colocando sobre ella un firme de concreto de 7 cm. de espesor con una resistencia de  $f'c = 150$  kg/cm. con un acabado pulido y pintado de color azul a dos manos. Sobre el fondo del modelo se trazaron las curvas de igual profundidad pintadas de color rojo y los puntos sobre los que se medirían las olas se pintaron de color blanco.

### 3.5.1 ELECCION DE ESCALAS

El objetivo de la construcción del modelo físico de la terminal de transbordadores en Xcaret Quintana Roo, consiste en la reproducción del fenómeno de penetración de oleaje en el puerto, a una escala que permita la representación adecuada del régimen de oleaje en la zona de estudio.

Para llevar a cabo éste estudio confiablemente, la modelación debe permitir el desarrollo de los fenómenos de refracción, difracción y reflexión del oleaje, así como el efecto del fondo marino sobre el desplazamiento de la ola. Estos fenómenos imponen la restricción para que el modelo sea no distorsionado, o sea que la escala horizontal de longitudes debe ser igual a la escala vertical de niveles.

Como el estudio considera un fenómeno donde la acción de la gravedad es importante, se tiene que cumplir la condición de escala de Froude:

La elección de la escala, depende básicamente de la magnitud de las olas por representar y de la precisión del equipo de medición, en éste caso los sensores y ológrafo para medir el oleaje dan una precisión de un milímetro y el rango de alturas de ola es de 1.00 a 5.32 mts.

En el plano 3 se muestra el prototipo a representar en el modelo hidráulico, que cubre un Área de 99 Hectáreas, que comprenden las dárcenas, medio kilómetro de playa hacia cada lado, y hacia el mar llegando hasta la batimetría de 30 mts. de profundidad.

Como no mencionó anteriormente el lugar asignado para la construcción del modelo, es un tanque que tiene como dimensiones, 26 X 43 X 1.20 mts., del que se designó un área de 120 m<sup>2</sup> para dicha construcción, por lo que aplicando la definición de escala se determina la escala de líneas.

El espacio disponible en el tanque es suficiente para construir el modelo a una escala de 1:100, que está dentro del rango aceptable, y el milímetro de precisión en el modelo tendrá una aproximación en el prototipo de 10cm.

Con lo anterior se puede definir las escalas a utilizar en la construcción del modelo para este estudio de agitación donde rige la ley de Fraude.

Escala de líneas horizontales y verticales... $L_v = 1:100$   
Escala de longitudes de ola..... $L_c = 1:100$   
Escala de Periodo de ola..... $T_e = 1:10$   
Escala de celeridades de ola..... $C_e = 1:10$   
Escala de altura de ola..... $H_e = 1:100$

## CAPITULO 4

### OPERACION DEL MODELO

#### 4.1 METROLOGIA EXPERIMENTAL

Los valores de altura y período de la ola en las distintas direcciones que se utilizarán en la operación del modelo, se representarán a través de un espectro frecuencial que está implementado en el sistema de generación de oleaje de la computadora que transmite la señal a los generadores.

Este espectro consiste en reproducir una distribución de las alturas de ola tal y como se presentan en la naturaleza, a éste sistema de representación de oleaje se le conoce como oleaje irregular, a diferencia del sistema que solo produce oleaje regular, donde todas las alturas y periodos son iguales.

El oleaje irregular puede definirse como un conjunto de varios componentes de oleaje regular.

El Espectro Frecuencial  $S(f)$  es la densidad de la energía de oleaje y se expresa como sigue:

$$S(f) = 0.257 H_{1/3}^2 T_{1/3} (T_{1/3} f)^5 \exp[-1.03 (T_{1/3} f)^4]$$

DONDE:

$H_{1/3}$  = altura de ola significativo en cm.  
 $T_{1/3}$  = período de ola significativo en seg.

Como se mencionó anteriormente, el espectro está implementado en la computadora, a la cual se le introducen como datos la altura y período significativo, para generar el oleaje deseado.

#### 4.2 EQUIPO DEL MODELO

Para la operación del modelo se utilizó el siguiente equipo:

- a) Ológrafo.- Compuesto de un amplificador y un sensor. El sensor se instala dentro del agua y el amplificador se coloca en la caseta del control. Este equipo mide las variaciones de la superficie del agua, transformandolas en señal electrónica.
- b) Mecanismo de elevación.- Este mecanismo se utilizó para realizar la calibración del sensor, permitiendo realizar movimientos ascendentes y descendentes del sensor, automáticamente controlados desde la caseta.
- c) Registrador térmico.- Este equipo se utilizó para registrar en forma gráfica la señal de ológrafo.
- d) Registrador magnético.- Este equipo permite registrar y almacenar la señal eléctrica del ológrafo en cinta magnética.
- e) Generador de oleaje.- Tiene una plancha de tipo pistón, que se mueve por medio de un motor de corriente directa, operado por la computadora.
- f) Computadora personal.- Necesaria para la operación del equipo mencionado, contiene el A.I.O. Board, necesario para la conversión de la señal analógica a digital y viceversa.

#### 4.3 ANALISIS DE LOS REGISTROS DE OLEAJE

Los registros de oleaje obtenidos en los ensayos, se analizaron utilizando la computadora personal antes mencionada.

El método de análisis se basa en la utilización de cuatro subrutinas las cuales conforman el programa principal. Se describen en forma general como sigue.

##### 4.3.1 SUBROUTINA PARA LA CALIBRACION DEL SENSOR DE OLEAJE.

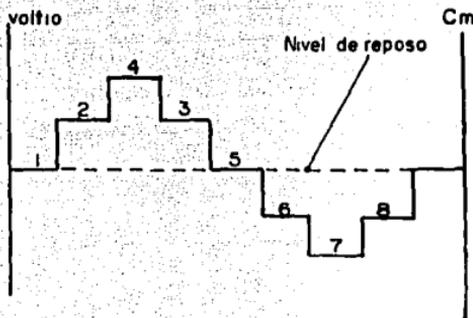
La altura de oleaje medido "Y" en centímetros y el voltaje eléctrico de equipo de medición "X" en voltios se relaciona mediante la ecuación:

$$Y = AX + B$$

donde:

A y B son constantes

Al medir el voltaje cuando el sensor del ológrafo se desplaza en la dirección vertical con la misma distancia se obtendrá un registro de medición como el que sigue.

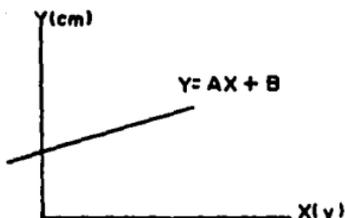


REGISTRO DE LA CALIBRACION DEL OLEAJE

En la figura anterior X correspondiente a la distancia vertical de cada escalón en centímetros desde el nivel de reposo.

El procedimiento de análisis de los registros de oleaje contra los desplazamientos verticales del sensor, el ológrafo de tipo capacitivo cambia el nivel del agua en una señal análoga. Esta señal registrada se almacena en el registrador magnético y con ayuda del A.I.O. Board se transforma la señal analógica a un dato digital para memorizarse en la computadora, memorizándose siempre 6144 datos en el A.I.O. Board.

La computadora utiliza el cálculo de regresión lineal, entre los valores registrados de "Y" en centímetros y "X" en voltios, para obtener una relación entre estas dos variables, tal como se muestra en la siguiente figura.



#### REGRESION LINEAL

Una vez calibrado el sensor se continua el análisis con la siguiente subrutina.

#### 4.3.2 SUBROUTINA PARA ENTRADA DE DATOS ANALOGICOS DE OLAJE.

De la misma manera se menciona en la subrutina anterior la señal del oleaje incidente se registra usando el sensor y el ológrafo, esta señal se almacena igualmente en el registrador magnético, transformando el A.I.O. Board la señal analógica a señal digital para memorizarse en la computadora.

En esta subrutina se toma con intervalo de tiempo en segundos que definen el tiempo necesario para obtener los 6144 datos del A.I.O. Board.

En este caso se selecciono un centésimo de segundo como intervalo, definiendose un tiempo de 61.44 segundos necesarios para sacar los 6144 datos del A.I.O. Board.

Habiendo sacado los datos de oleaje y con ayuda de la relación  $Y = AX + B$  obtenida en la subrutina anterior, se realiza la transformación a altura de ola.

#### 4.3.3 SUBROUTINA PARA ANALISIS ESTADISTICO.

Esta subrutina localiza el nivel medio de la onda memorizada en la computadora y calcula la desviación estandar de los oleajes registrados, localizando los puntos donde el perfil de oleaje cruce el nivel de agua de abajo hacia arriba determinando el nivel máximo y mínimo dentro de cada oleaje, posteriormente, ordena por tamaño las alturas de ola calculando de esta manera las alturas de ola significante ( $H_{1/3}$ ) y el período significante ( $T_{1/3}$ ) del registro de oleaje memorizado en la computadora.

#### 4.3.4 SUBROUTINA DE LA POTENCIA ESPECTRAL.

En esta subrutina se realiza la suavización del espectro del registro del oleaje encerrado en una ventanilla los datos de suavización del espectro, dicha ventanilla actúa como - "filtro de paso de banda", porque pasan solamente los componentes del dominio del ancho de banda.

#### 4.4 CALCULO DEL COEFICIENTE DE AGITACION.

La distribución de la energía del oleaje que se presenta en la zona interior de un puerto, comunmente se expresa a partir del coeficiente de agitación el cual se define como la relación del oleaje que se tiene en el interior del puerto y el oleaje incidente y se expresa como:

$$K_a = \frac{H_d}{H_i} \quad ( 49 )$$

donde:

$K_a$  = Coeficiente de agitación

$H_d$  = Altura de ola en el interior del puerto

$H_i$  = Altura de ola incidente

En el presente estudio, el coeficiente de agitación se calculo con la relación antes indicada, determinando el valor de la altura de ola incidente como el promedio aritmético de las alturas de ola registradas en los puntos de cruce de la cuadrícula, localizadas en la profundidad de 15 mts.

#### 4.5 PROGRAMA DE ENSAYOS

De acuerdo con las características del oleaje seleccionadas se incluyeron un total de 20 ensayos con diferentes condiciones a las que se sometió el modelo para conocer el grado de agitación en la terminal de transbordadores. En la tabla 4 se presenta el programa de ensayos correspondiente.

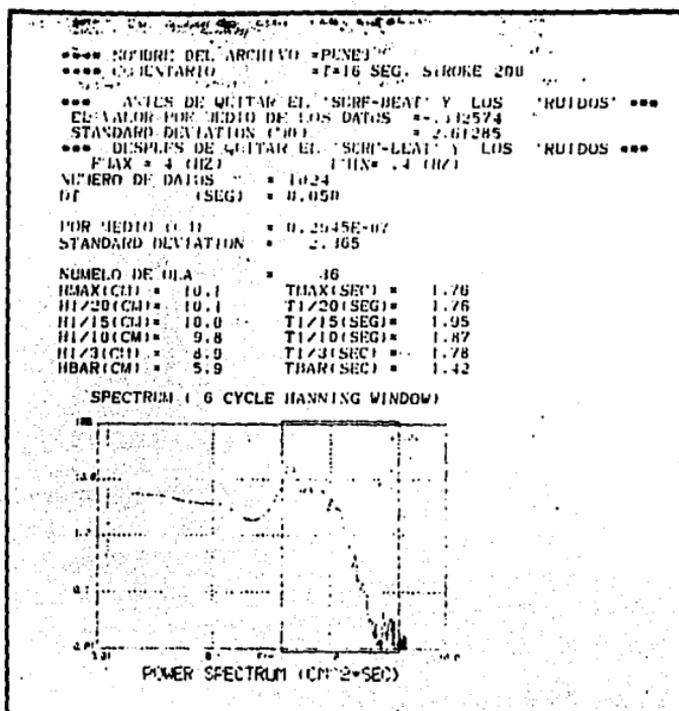


FIG. 15 REGISTRO DE OLEAJE

FALLA DE ORIGEN



PROGRAMA DE ENSAYOS

| ENSAYO | DIRECCION | PERIODO<br>(Seg) | ALTURA<br>(m) | NIVEL<br>(m) | CONDICIONES   |
|--------|-----------|------------------|---------------|--------------|---|
| 1      | SE        | 5                | 1.00          | 0.30         | ACTUALES  |
| 2      | SE        | 13               | 0.32          | 1.0          | ACTUALES  |
| 3      | S         | 5                | 1.00          | 0.3          | ACTUALES  |
| 4      | S         | 13               | 0.32          | 1.0          | ACTUALES  |
| 5      | SE        | 5                | 1.00          | 0.3          | CON TALUD DE ENROCAMIENTO 2:1 CORTE A -3m<br>SIN AMPLIACION DE LA DARSENA |
| 6      | SE        | 13               | 0.32          | 1.0          | IDEM  |
| 7      | S         | 5                | 1.00          | 0.3          | IDEM  |
| 8      | S         | 13               | 0.32          | 1.0          | IDEM  |
| 9      | SE        | 5                | 1.00          | 0.3          | CON TALUD DE ENROCAMIENTO 2:1 CORTE A -3m<br>AMPLIACION DE LA DARSENA 20m |
| 10     | SE        | 13               | 0.32          | 1.0          | IDEM  |
| 11     | S         | 5                | 1.00          | 0.3          | IDEM  |
| 12     | S         | 13               | 0.32          | 1.0          | IDEM  |
| 13     | SE        | 5                | 1.00          | 0.3          | CON TALUD DE ENROCAMIENTO 2:1 CORTE A -3m<br>AMPLIACION DE LA DARSENA 37m |
| 14     | SE        | 13               | 0.32          | 1.0          | IDEM  |
| 15     | S         | 5                | 1.00          | 0.3          | IDEM  |
| 16     | S         | 13               | 0.32          | 1.0          | IDEM  |
| 17     | SE        | 5                | 1.00          | 0.3          | CON TALUD DE ENROCAMIENTO 2:1 CORTE A -3m<br>AMPLIACION DE LA DARSENA 75m |
| 18     | SE        | 13               | 0.32          | 1.0          | IDEM  |
| 19     | S         | 5                | 1.00          | 0.3          | IDEM  |
| 20     | S         | 13               | 0.32          | 1.0          | IDEM  |

TABLA 4

FALLA DE ORIGEN

## C A P I T U L O 5

## RESULTADOS

En los planos del No. 4 al 15 se muestran los resultados de los 20 ensayos de agitación para las condiciones establecidas en el programa.

En la tabla 5 se presenta el análisis de los ensayos. De la cual podemos observar que la mayor agitación en la dárcena de transbordadores corresponde a los ensayos No. 1 al No 4, los cuales se presentan en condiciones actuales. La menor agitación se presenta en los ensayos No. 17 al No. 20, que consisten en colocar un talud de enrocamiento 2:1 con un corte a -3mts. y ampliación de la dárcena 75mts.

| No. ENSAYO | DIRECCION | ALTURA | PERIODO | COEFICIENTE AGITACION |
|------------|-----------|--------|---------|-----------------------|
| 1          | SE        | 1.00   | 5       | 0.20 - 0.40           |
| 5          |           |        |         | 0.20 - 0.40           |
| 9          |           |        |         | 0.20 - 0.40           |
| 13         |           |        |         | 0.15 - 0.40           |
| 17         |           |        |         | 0.05 - 0.20           |
| 2          | SE        | 5.32   | 13      | 0.30 - 0.40           |
| 6          |           |        |         | 0.15 - 0.25           |
| 10         |           |        |         | 0.15 - 0.25           |
| 14         |           |        |         | 0.15 - 0.30           |
| 18         |           |        |         | 0.10 - 0.20           |
| 3          | S         | 1.00   | 5       | 0.20 - 0.40           |
| 7          |           |        |         | 0.10 - 0.30           |
| 11         |           |        |         | 0.10 - 0.30           |
| 15         |           |        |         | 0.10 - 0.30           |
| 19         |           |        |         | 0.10 - 0.20           |
| 4          | S         | 5.32   | 13      | 0.20 - 0.40           |
| 8          |           |        |         | 0.10 - 0.60           |
| 12         |           |        |         | 0.15 - 0.30           |
| 16         |           |        |         | 0.15 - 0.30           |
| 20         |           |        |         | 0.10 - 0.30           |

## RESULTADOS DE AGITACION

Se realizó un estudio de estabilidad para el talud 2:1 propuesto para ser colocado en todo el perimetro de la dárcena de transbordadores, observando que el talud presentó fallas en la pared NW de la dárcena para las condiciones de 13 seg. de periodo, dirección SE y alturas de ola de 5.32 mts., por lo que se propone colocar cubos de concreto de dimensiones de 1.20 x 1.20 x 1.20 mts. en dos capas a lo largo de los 80 mts. en la pared NW de la dárcena ( el estudio de estabilidad de el talud fue efectuado por personal del laboratorio de Hidráulica Marítima ).

Con los resultados del estudio de agitación se realizó un análisis de operatividad para los transbordadores que haran uso de la dárcena. Las características de estos transbordadores son:

| <u>TRANSBORDADOR</u> | <u>ESLORA (m)</u> | <u>MANGA (m)</u> | <u>CALADO (m)</u> |
|----------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| Guicura              | 90.17             | 16.62            | 4.80              |
| Cozumel              | 73.80             | 14.20            | 3.35              |

Información proporcionada por la Subgerencia de Diseño de Puertos Mexicanos.

Estos transbordadores para poder realizar las operaciones de carga y descarga con seguridad, permiten altura de ola hasta 0.50 m.

La operatividad se considera de acuerdo con la altura de ola obtenida en la dárcena de transbordadores con relación a la altura de ola permisible. Lo cual podemos deducir de la siguiente tabla.

| ENSAYO<br>No | H PERMISIBLE<br>(m) | HC-15 m)<br>(m) | Ka   | HC(Dársena)<br>(m) | OPERACION |
|--------------|---------------------|-----------------|------|--------------------|-----------|
| 1            | 0.50                | 1.00            | 0.40 | 0.40               | SI        |
| 2            | 0.50                | 5.32            | 0.40 | 2.13               | NO        |
| 3            | 0.50                | 1.00            | 0.40 | 0.40               | SI        |
| 4            | 0.50                | 5.32            | 0.40 | 2.13               | NO        |
| 5            | 0.50                | 1.00            | 0.40 | 0.40               | SI        |
| 6            | 0.50                | 5.32            | 0.25 | 1.33               | NO        |
| 7            | 0.50                | 1.00            | 0.30 | 0.30               | SI        |
| 8            | 0.50                | 5.32            | 0.60 | 3.19               | NO        |
| 9            | 0.50                | 1.00            | 0.40 | 0.40               | SI        |
| 10           | 0.50                | 5.32            | 0.25 | 1.33               | NO        |
| 11           | 0.50                | 1.00            | 0.30 | 0.30               | SI        |
| 12           | 0.50                | 5.32            | 0.30 | 1.59               | NO        |
| 13           | 0.50                | 1.00            | 0.40 | 0.40               | SI        |
| 14           | 0.50                | 5.32            | 0.30 | 1.59               | NO        |
| 15           | 0.50                | 1.00            | 0.30 | 0.30               | SI        |
| 16           | 0.50                | 5.32            | 0.20 | 1.06               | NO        |
| 17           | 0.50                | 1.00            | 0.20 | 0.20               | SI        |
| 18           | 0.50                | 5.32            | 0.20 | 1.06               | NO        |
| 19           | 0.50                | 1.00            | 0.20 | 0.20               | SI        |
| 20           | 0.50                | 5.32            | 0.30 | 1.59               | NO        |

TABLA DE OPERATIVIDAD

Considerando los porcentajes de ocurrencia del oleaje proporcionados por Consultoría Técnica, S.C. los cuales muestran que para la dirección SE es el 15.97 % y para la dirección S es del 4.14 %; considerando estos como el 100 % se puede obtener, para los diferentes períodos, los siguientes porcentajes de ocurrencia:

| <u>PORCENTAJE DE OCURRENCIA</u> |    |                  |
|---------------------------------|----|------------------|
| SE                              | 5  | 9.64             |
|                                 | 7  | 4.63             |
|                                 | 9  | 1.10             |
|                                 | 11 | 0.48             |
|                                 | 13 | 0.12             |
|                                 |    | -----            |
|                                 |    | 15.97      100 % |

| <u>PROCENTAJE DE OCURRENCIA</u> |    |       |
|---------------------------------|----|-------|
| SE                              | 5  | 60.36 |
|                                 | 7  |       |
|                                 | 9  | 38.88 |
|                                 | 11 |       |
|                                 | 13 | 0.75  |

|     |    |                 |
|-----|----|-----------------|
| SUR | 5  | 3.17            |
|     | 7  | 0.85            |
|     | 9  | 0.12            |
|     | 11 |                 |
|     | 13 |                 |
|     |    | -----           |
|     |    | 4.14      100 % |

|     |    |       |
|-----|----|-------|
| SUR | 5  | 76.57 |
|     | 7  |       |
|     | 9  | 2.84  |
|     | 11 |       |
|     | 13 |       |

De los porcentajes anteriores se puede concluir que la operatividad para la dirección SE es de 60.36 % y para la dirección S es el 76.57 %.

De acuerdo con estos porcentajes, se concluye que para la dirección SE la SI operatividad es 9.63 % y para la dirección S la SI operatividad será de 3.19 %.

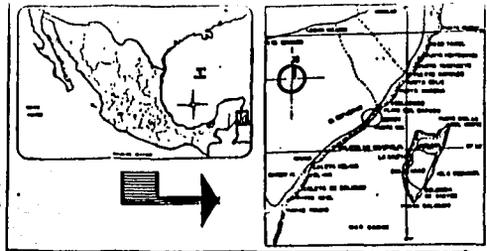
Ahora considerando los porcentajes de todas las direcciones incidentes en el Puerto, la operatividad será:

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

|       |           |
|-------|-----------|
| NE    | 29.23     |
| E     | 50.66     |
| SE    | 9.63      |
| S     | 3.19      |
|       | <hr/>     |
| TOTAL | = 92.71 % |

Los porcentajes de la dirección NE y E fueron proporcionados por Consultoría Técnica, S.C.

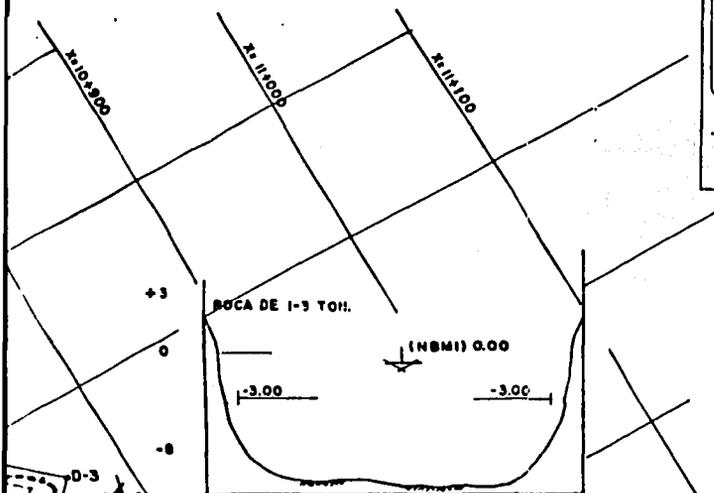




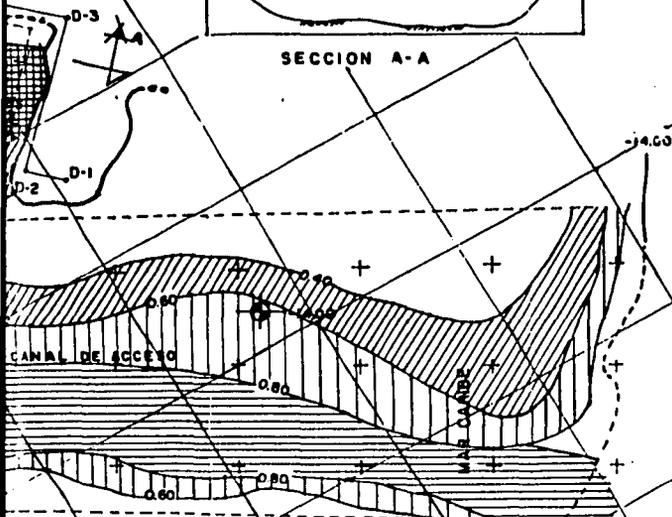
### LOCALIZACION



ESCALA GRAFICA



SECCION A-A



RANGO DE AGITACION



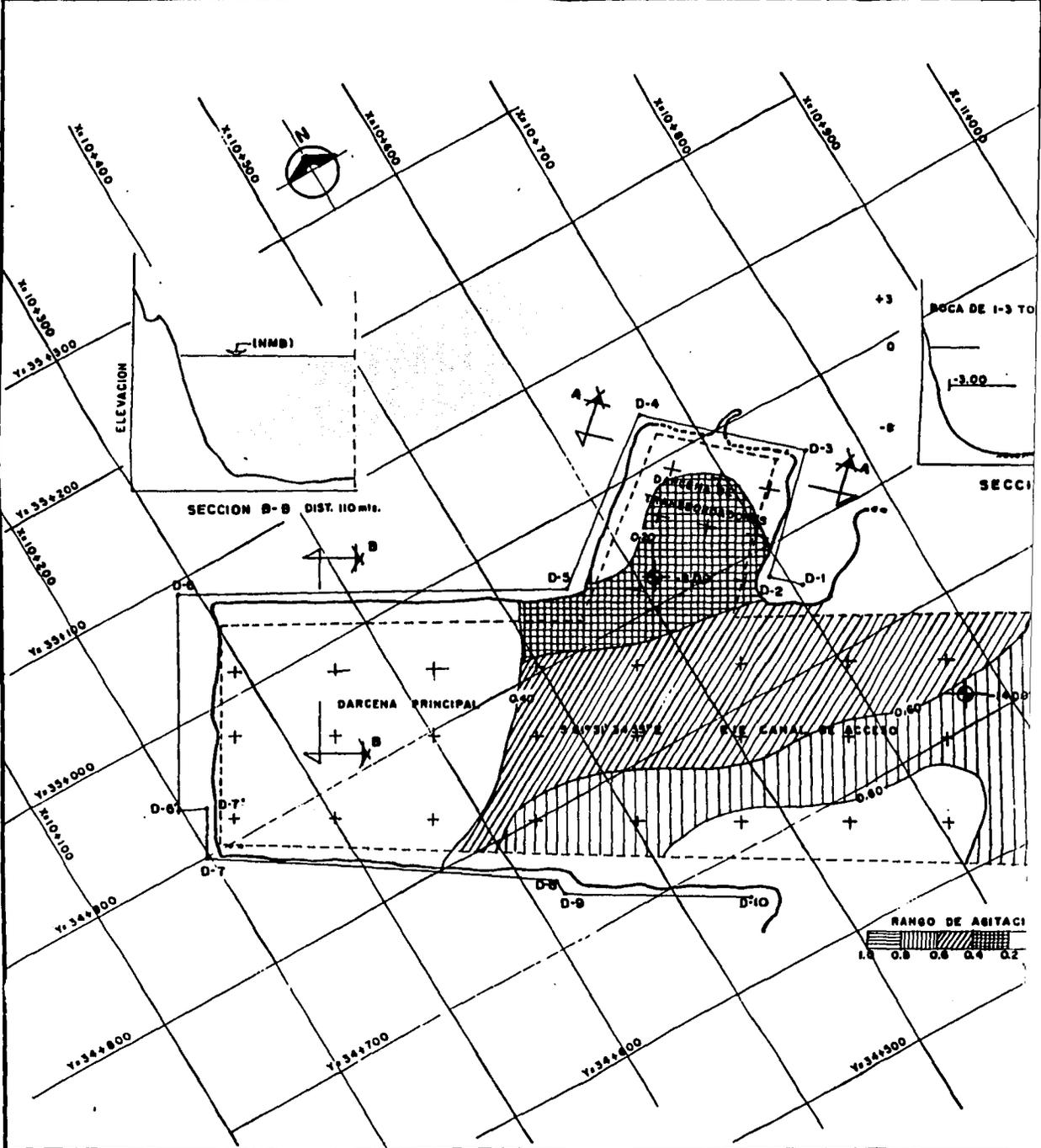
### NOTAS-

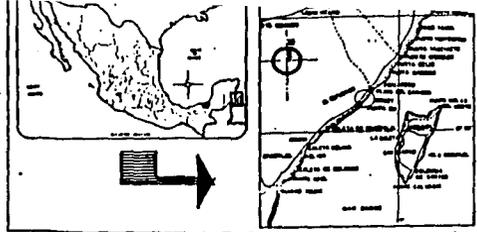
- EL NORTE CONSIDERADO ES EL ASTRONOMICO
- ACOTACIONES EN METROS
- ELEVACIONES EN METROS REFERIDAS AL NIVEL DE BAJAMAR MEDIO INFERIOR (M.B.M.I.)
- EL MODELO SE CONSTRUYO DE FONDO FIJO A ESCALA 1:100 SIN DISTORSION
- LAS CURVAS INDICAN IRGUAL COEFICIENTE DE AGITACION
- LOS ENSAYOS SE REALIZARON CON CLEAJE IRREGULAR
- LAS MOJONERAS QUE APARECEN EN EL PERIMETRO DE LA DARCENA, CORRESPONDEN AL APOYO TERRESTRE IMPLEMENTADO POR LA EMPRESA CALICA PARA EL CONTROL DE DRAGADO
- LA LINEA "O" REPRESENTA LA SUPERFICIE DEL AGUA
- LAS DIMENSIONES DE LA DARCENA CORRESPONDEN A LAS MEDICIONES EN EL SITIO LOS DIAS 27 A 29 DE MARZO DE 1990.

**E.N.P. ARAGON U.N.A.M.**

|                   |                        |  |  |
|-------------------|------------------------|--|--|
| TESIS PROFESIONAL |                        | NOMBRE:  |  |
| CARRERA:          |                        | JORGE RODRIGUEZ CHAVEZ                             |  |
| INGENIERIA CIVIL  | PERIODO: T= 3seg.      | DIRECCION: SE                                      |  |
| PLANO             | ESC: 1:1500            | ESTUDIO: AGITACION                                 |  |
| 4                 | FECHA:                 | TERMINAL DE TRANSBORDADORES EN XCARET QUINTANA ROO |  |
| ENSAYO 1          | CONDICIONES ORIGINALES |  |  |

FALLA DE ORIGEN





LOCALIZACION

0 20 40 100

ESCALA GRAFICA

**- NOTAS -**

- EL NORTE CONSIDERADO ES EL ASTRONOMICO
- ACOTACIONES EN METROS
- ELEVACIONES EN METROS REFERIDAS AL NIVEL DE BAJAMAR MEDIO INFERIOR (N.B.M.I.)
- EL MODELO SE CONSTITUYO DE FONDO FIJO A ESCALA 1:100 SIN DISTORSION
- LAS CURVAS INDICAN IGUAL COEFICIENTE DE AGITACION
- LOS ENSAYOS SE REALIZARON CON OLEAJE IRREGULAR
- LAS MOJONERAS QUE APARECEN EN EL PERIMETRO DE LA DARCENA, CORRESPONDEN AL APOYO TERRESTRE IMPLEMENTADO POR LA EMPRESA CALICA PARA EL CONTROL DE DRAGADO
- LA LINEA "0" REPRESENTA LA SUPERFICIE DEL AGUA
- LAS DIMENSIONES DE LA DARCENA CORRESPONDEN A LAS MEDICIONES EN EL SITIO LOS DIAS 27 A 29 DE MARZO DE 1990.

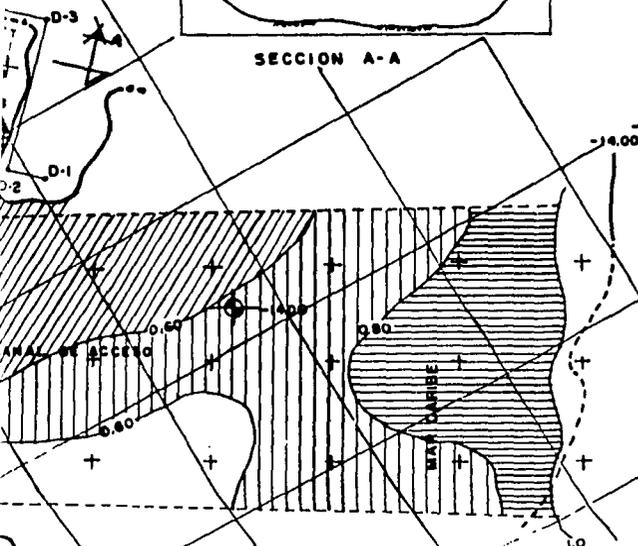
SECCION A-A

BUCA DE 1-3 TON.

(N.B.M.I.) 0.00

-3.00

-3.00



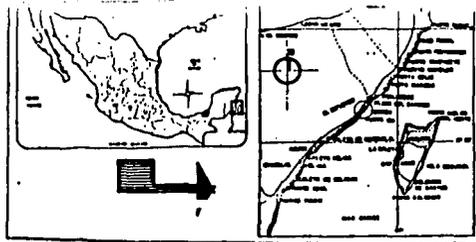
RANGO DE AGITACION



**ENEP ARAGON U.N.A.M.**

|                   |                        |                             |  |
|-------------------|------------------------|-----------------------------|--|
| TESIS PROFESIONAL |                        | NOMBRE:                     |  |
| CARRERA:          |                        | JORGE RODRIGUEZ CHAVEZ      |  |
| INGENIERIA CIVIL  | PERIODO: T=1398g.      | DIRECCION: SE               |  |
| PLANO             | ESC: 1:1500            | ESTUDIO:                    |  |
| 5                 | FECHA:                 | AGITACION                   |  |
|                   |                        | TERMINAL DE TRANSBORDADORES |  |
|                   |                        | EN XCARET QUINTANA ROO      |  |
| ENSAYO 2          | CONDICIONES ORIGINALES |                             |  |

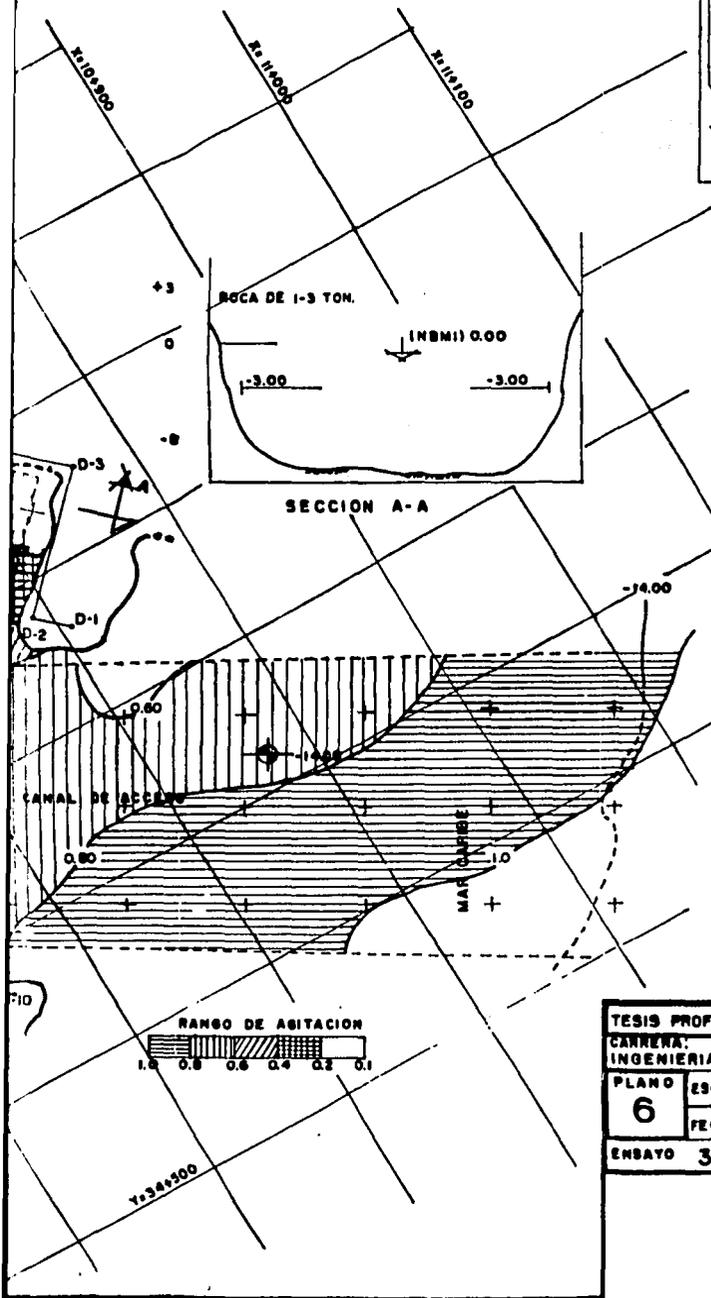
ENCUENTRO EN EL SITIO



LOCALIZACION

0 20 40 100

ESCALA GRAFICA



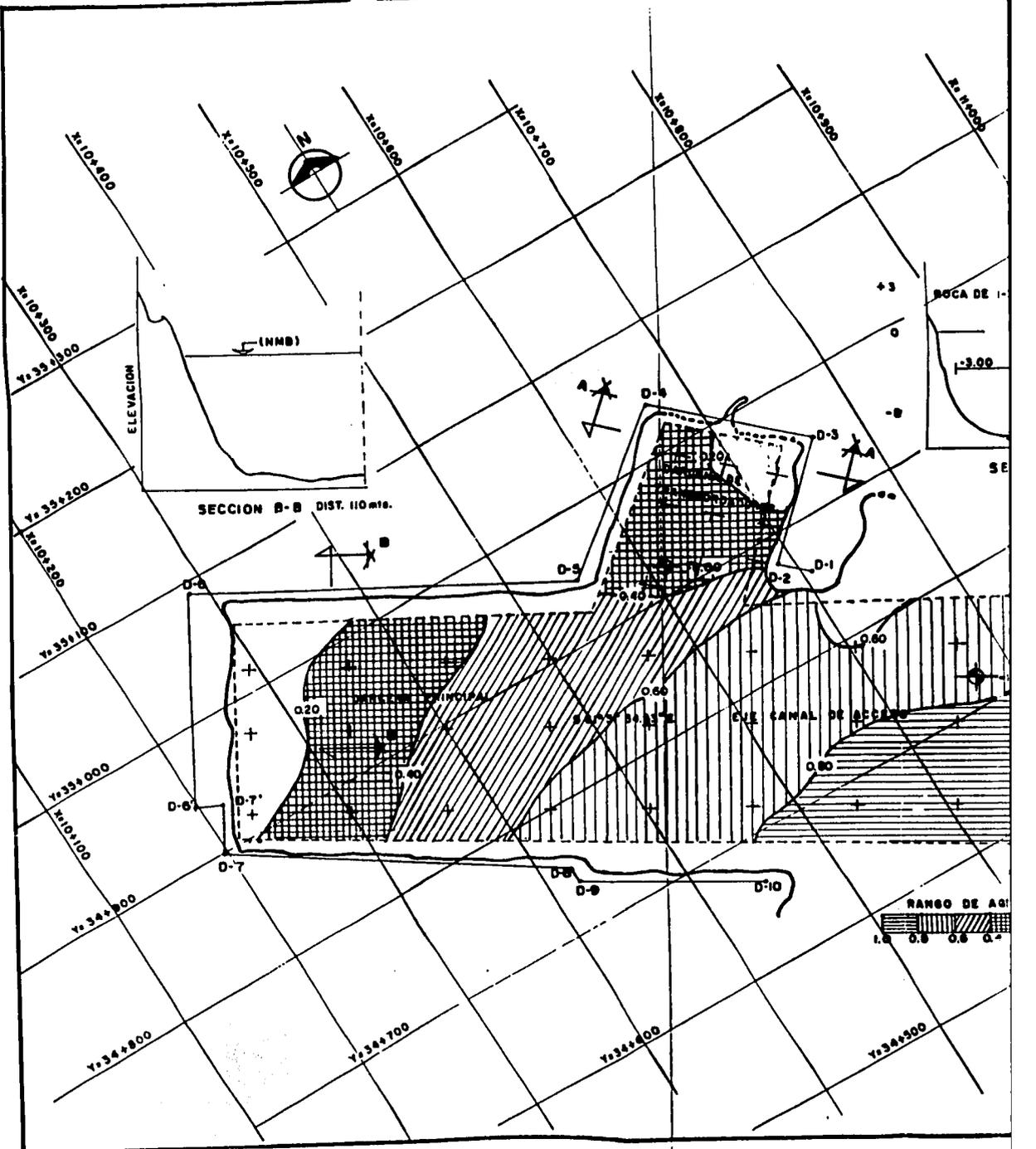
**- NOTAS -**

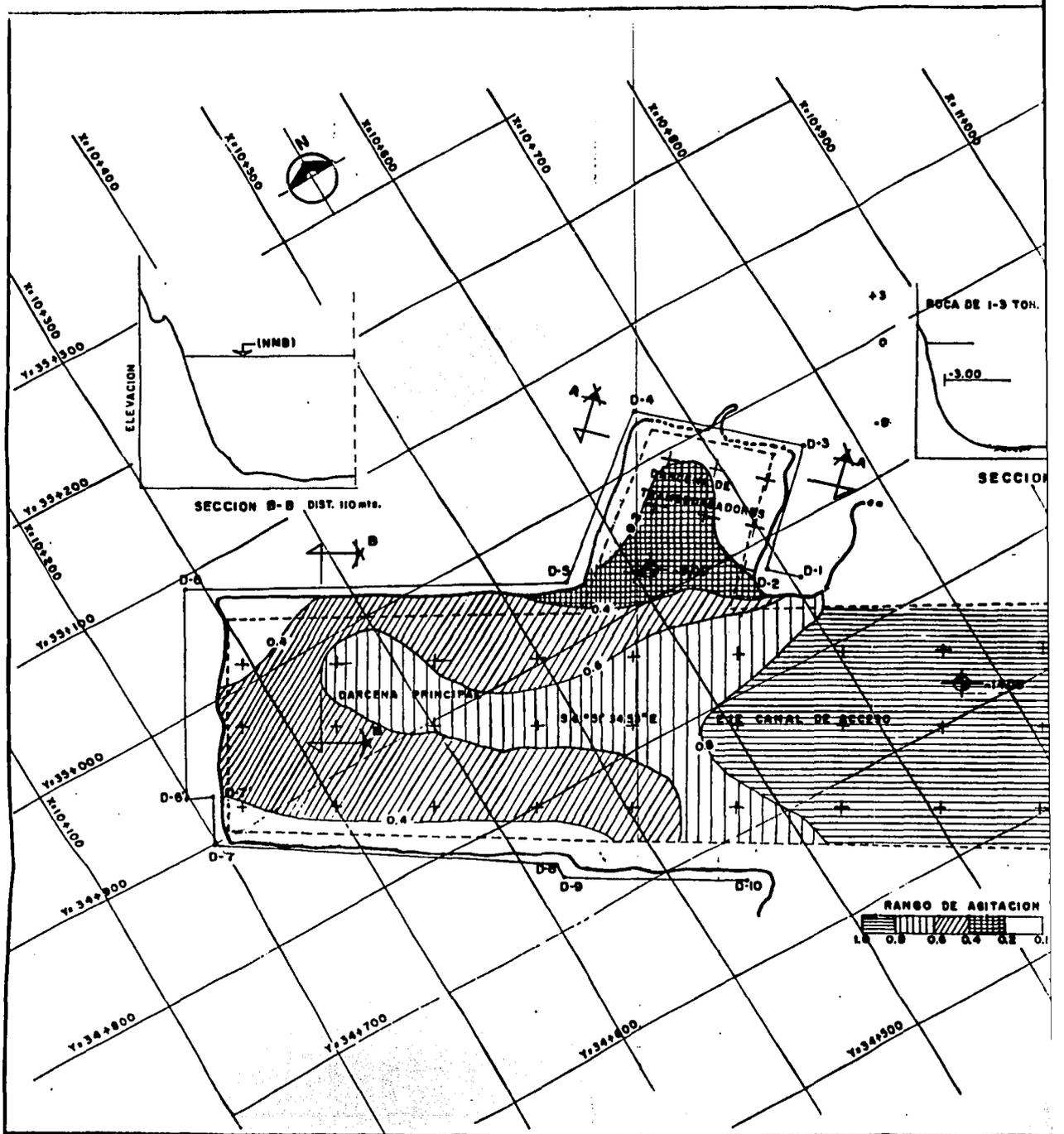
- EL NORTE CONSIDERADO ES EL ASTRONÓMICO
- ACOTACIONES EN METROS
- ELEVACIONES EN METROS REFERIDAS AL NIVEL DE BAJAMAR MEDIO INFERIOR (N.B.M.I.)
- EL MODELO SE CONSTRUYÓ DE FONDO FIJO A ESCALA 1:100 SIN DISTORSIÓN
- LAS CURVAS INDICAN IGUAL COEFICIENTE DE AGITACIÓN
- LOS ENSAYOS SE REALIZARON CON OLEAJE IRREGULAR
- LAS MOJONERAS QUE APARECEN EN EL PERÍMETRO DE LA DARCEÑA, CORRESPONDEN AL APOYO TERRESTRE IMPLEMENTADO POR LA EMPRESA CALICA PARA EL CONTROL DE DRAGADO
- LA LÍNEA "O" REPRESENTA LA SUPERFICIE DEL AGUA
- LAS DIMENSIONES DE LA DARCEÑA CORRESPONDEN A LAS MEDICIONES EN EL SITIO LOS DÍAS 27 A 29 DE MARZO DE 1990.

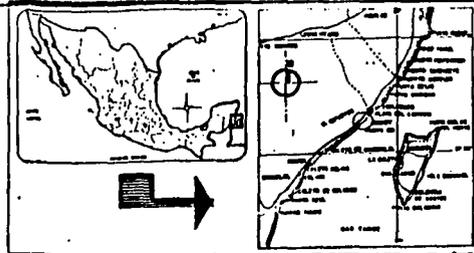
**ENEP ARAGON UNAM.**

|                   |                        |                             |                |
|-------------------|------------------------|-----------------------------|----------------|
| TESIS PROFESIONAL |                        | NOMBRE:                     |                |
| CARRERA:          |                        | JORGE RODRIGUEZ CHAVEZ      |                |
| INGENIERIA CIVIL  |                        | PERIODO: T=3sej.            | DIRECCION: SUR |
| PLANO             | ESC: 1:1500            | ESTUDIO: AGITACION          |                |
| 6                 | FECHA:                 | TERMINAL DE TRANSBORDADORES |                |
| ENSAYO 3          | CONDICIONES ORIGINALES |                             |                |

FALLA DE ORIGEN



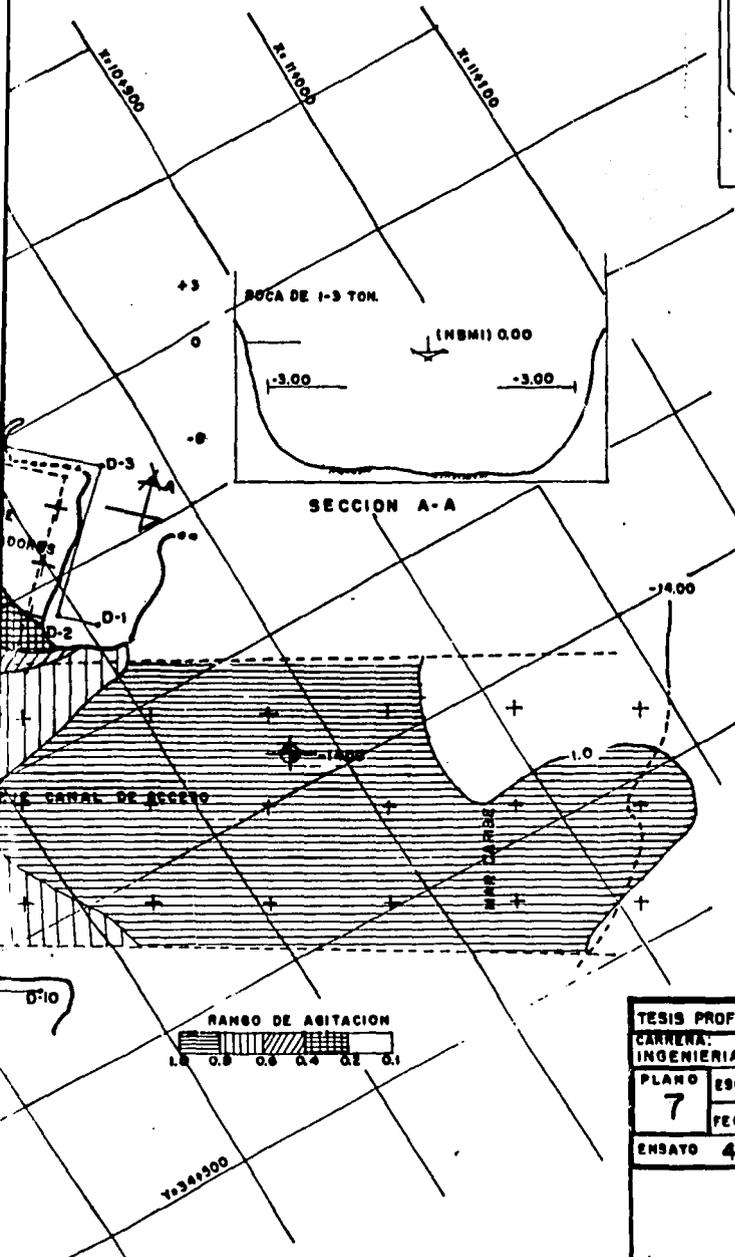




LOCALIZACION



ESCALA GRAFICA



SECCION A-A

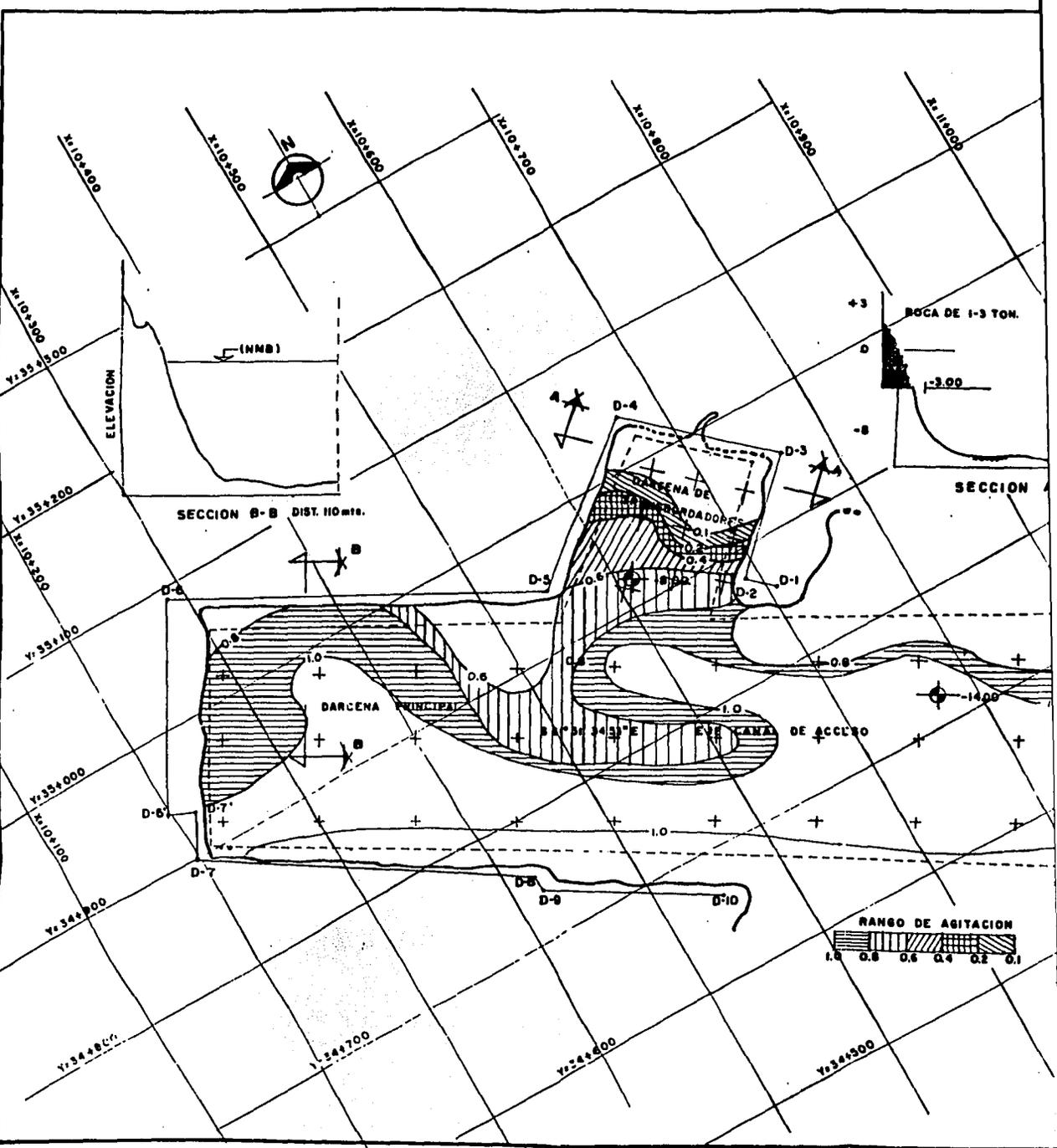
- NOTAS -

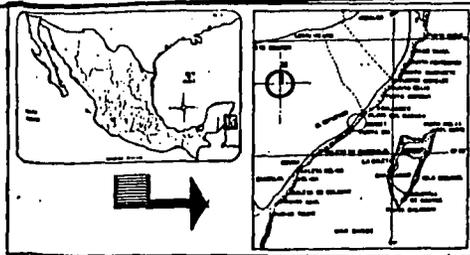
- EL NORTE CONSIDERADO ES EL ASTRONOMICO
- ACOTACIONES EN METROS
- ELEVACIONES EN METROS REFERIDAS AL NIVEL DE BAJAMAR MEDIO INFERIOR (N.S.M.I.)
- EL MODELO SE CONSTRUYO DE FONDO FIJO A ESCALA 1:100 SIN DISTORSION
- LAS CURVAS INDICAN IGUAL COEFICIENTE DE AGITACION
- LOS ENSAYOS SE REALIZARON CON OLEAJE IRREGULAR
- LAS MOJONERAS QUE APARECEN EN EL PERIMETRO DE LA DARCIENA, CORRESPONDEN AL APOYO TERRESTRE IMPLEMENTADO POR LA EMPRESA CALICA PARA EL CONTROL DE DRAGADO
- LA LINEA "O" REPRESENTA LA SUPERFICIE DEL AGUA
- LAS DIMENSIONES DE LA DARCIENA CORRESPONDE A LAS MEDICIONES EN EL SITIO LOS DIAS 27 A 28 DE MARZO DE 1990.

**E.N.E.P. ARAGON U.N.A.M.**

|                           |                        |  |                |
|---------------------------|------------------------|--|----------------|
| TESIS PROFESIONAL         |                        | NOMBRE: JORGE RODRIGUEZ CHAVEZ                     |                |
| CARRERA: INGENIERIA CIVIL |                        | PERIODO: Tº 13989                                  | DIRECCION: SUR |
| PLANO 7                   | ESC: 1:500             | ESTUDIO: AGITACION                                 |                |
|                           | FECHA:                 | TERMINAL DE TRANSBORDADORES EN XCARET QUINTANA ROO |                |
| ENSAYO 4                  | CONDICIONES ORIGINALES |  |                |

FALLA DE ORIGEN

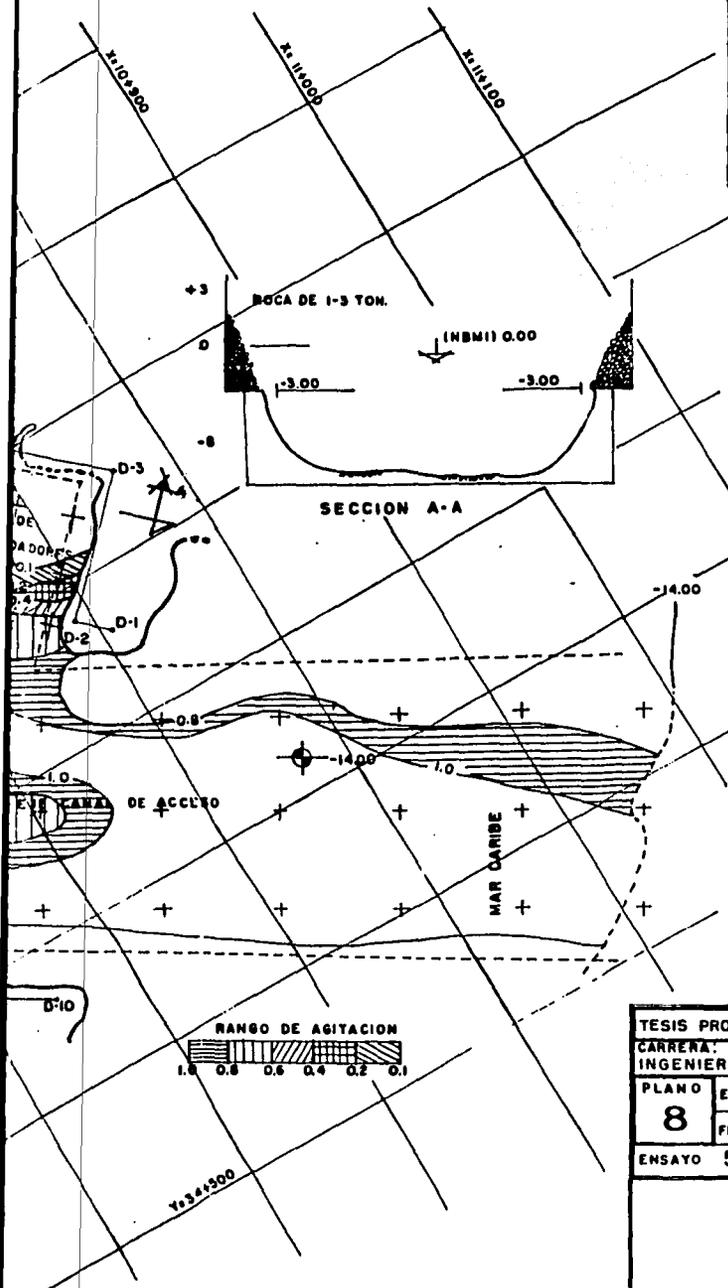




LOCALIZACION



ESCALA GRAFICA



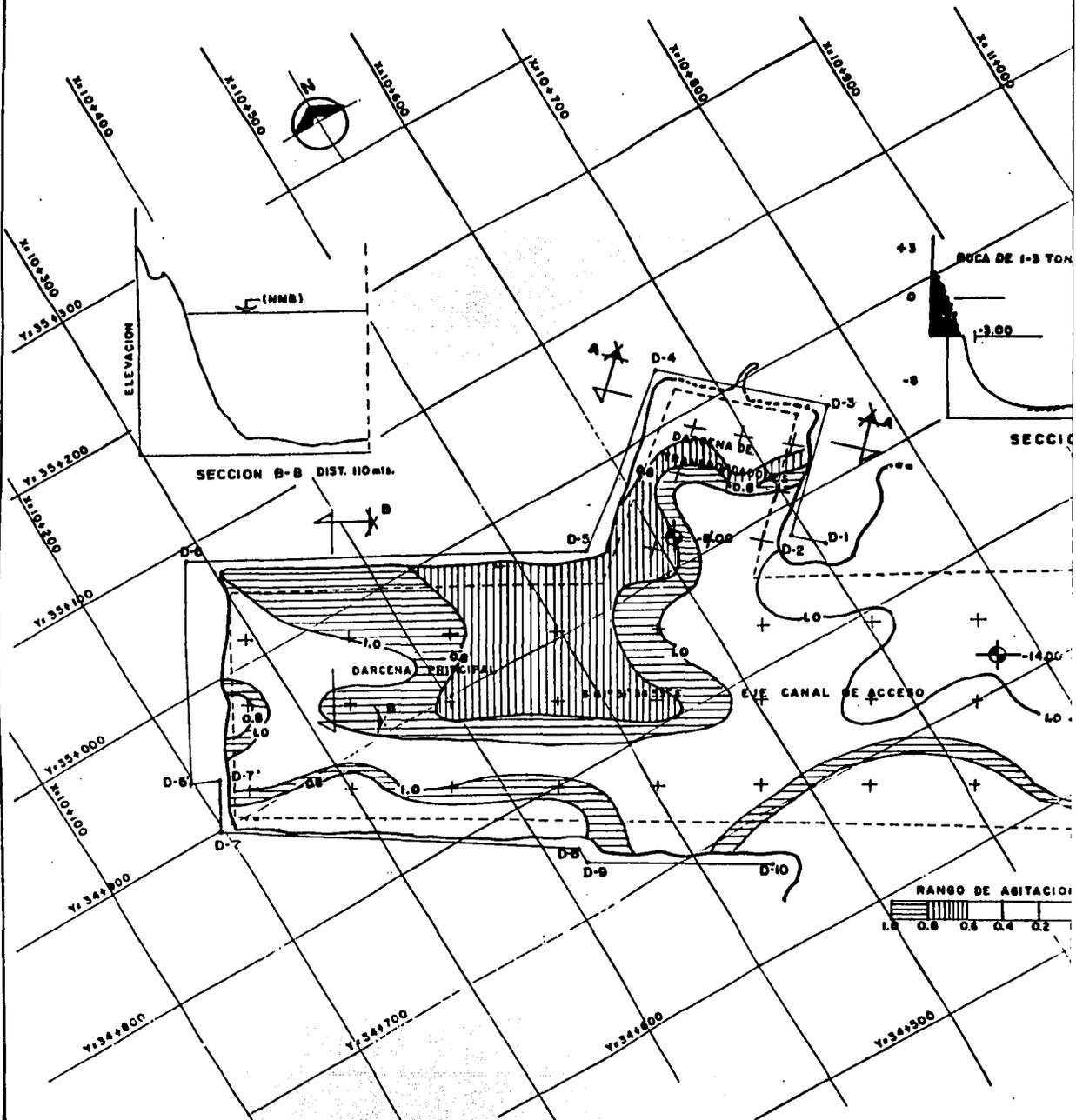
**-NOTAS-**

- EL NORTE CONSIDERADO ES EL ASTRONOMIC
- ACOTACIONES EN METROS
- ELEVACIONES EN METROS REFERIDAS AL NIVEL DE BAJAMAR MEDIO INFERIOR (N.B.M.I.)
- EL MODELO SE CONSTRUYO DE FONDO FIJO A ESCALA 1:100 SIN DISTORSION
- LAS CURVAS INDICAN IGUAL COEFICIENTE DE AGITACION
- LOS ENSAYOS SE REALIZARON CON OLEAJE IRREGULAR
- LAS MOJONERAS QUE APARECEN EN EL PERIMETRO DE LA DARCENA, CORRESPONDEN AL APOYO TERRESTRE IMPLEMENTADO POR LA EMPRESA CALICA PARA EL CONTROL DE DRAGADO
- LA LINEA "0" REPRESENTA LA SUPERFICIE DEL AGUA
- LAS DIMENSIONES DE LA DARCENA CORRESPONDEN A LAS MEDICIONES EN EL SITIO LOS DIAS 27 A 29 DE MARZO DE 1990.

**ENEP ARAGON UN.A.M.**

|                   |  |  |  |
|-------------------|--|--|--|
| TESIS PROFESIONAL |  | NOMBRE:  |  |
| INGENIERIA CIVIL  |  | JORGE RODRIGUEZ CHAVEZ                             |  |
| PERIODO: 3 sgs.   |  | DIRECCION: SE                                      |  |
| PLANO             | ESC: 1:1500                                  | ESTUDIO:   |  |
| 8                 | FECHA:                                       | AGITACION  |  |
|                   |  | TERMINAL DE TRANSBORDADORES EN XCARET QUINTANA ROO |  |
| ENSAYO 5          | CON TALUD DE ENROCAMIENTO 2:1 SIN AMPLIACION |  |  |

FALLA DE ORIGEN



ELEVACION

SECCION B-B DIST. 110 mt.

BOCA DE 1-3 TON

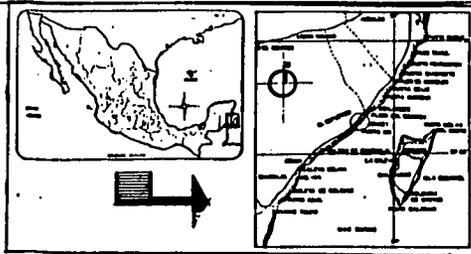
SECCION

DARCENA PRINCIPAL

EJE CANAL DE ACCESO

RANGO DE AGITACION

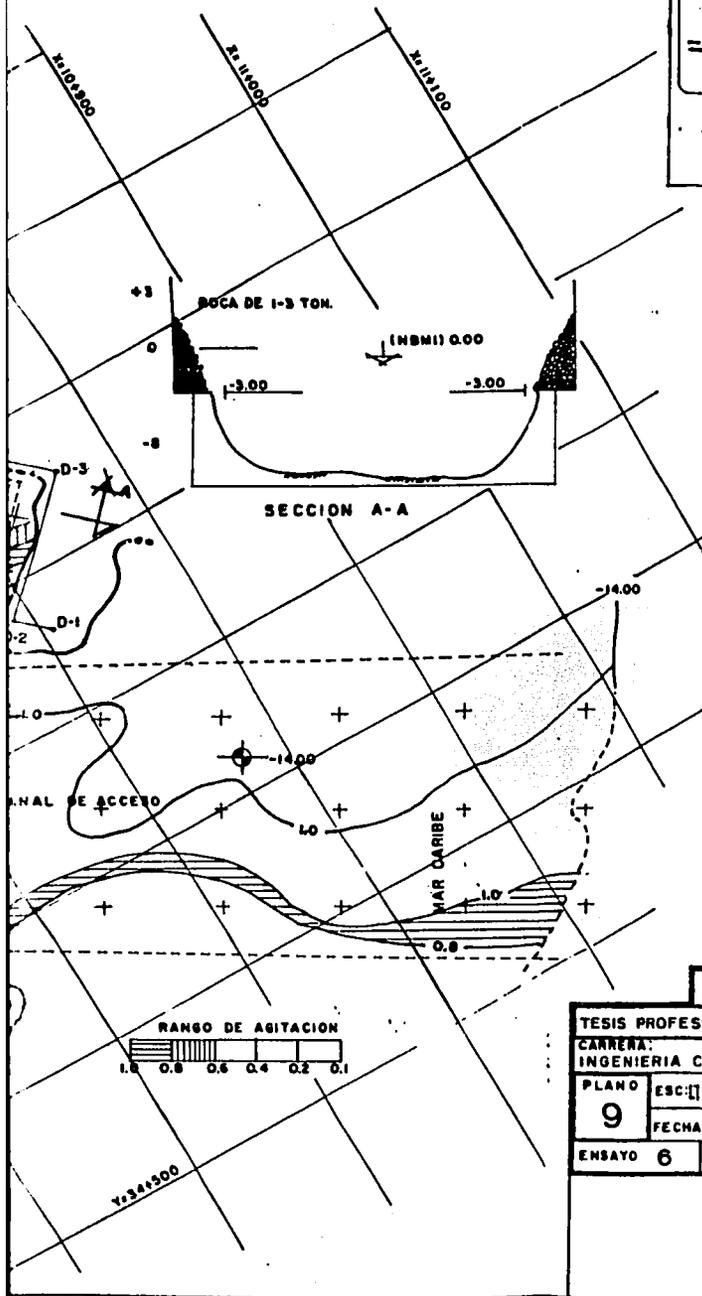
1.0 0.8 0.6 0.4 0.2



LOCALIZACION



ESCALA GRAFICA



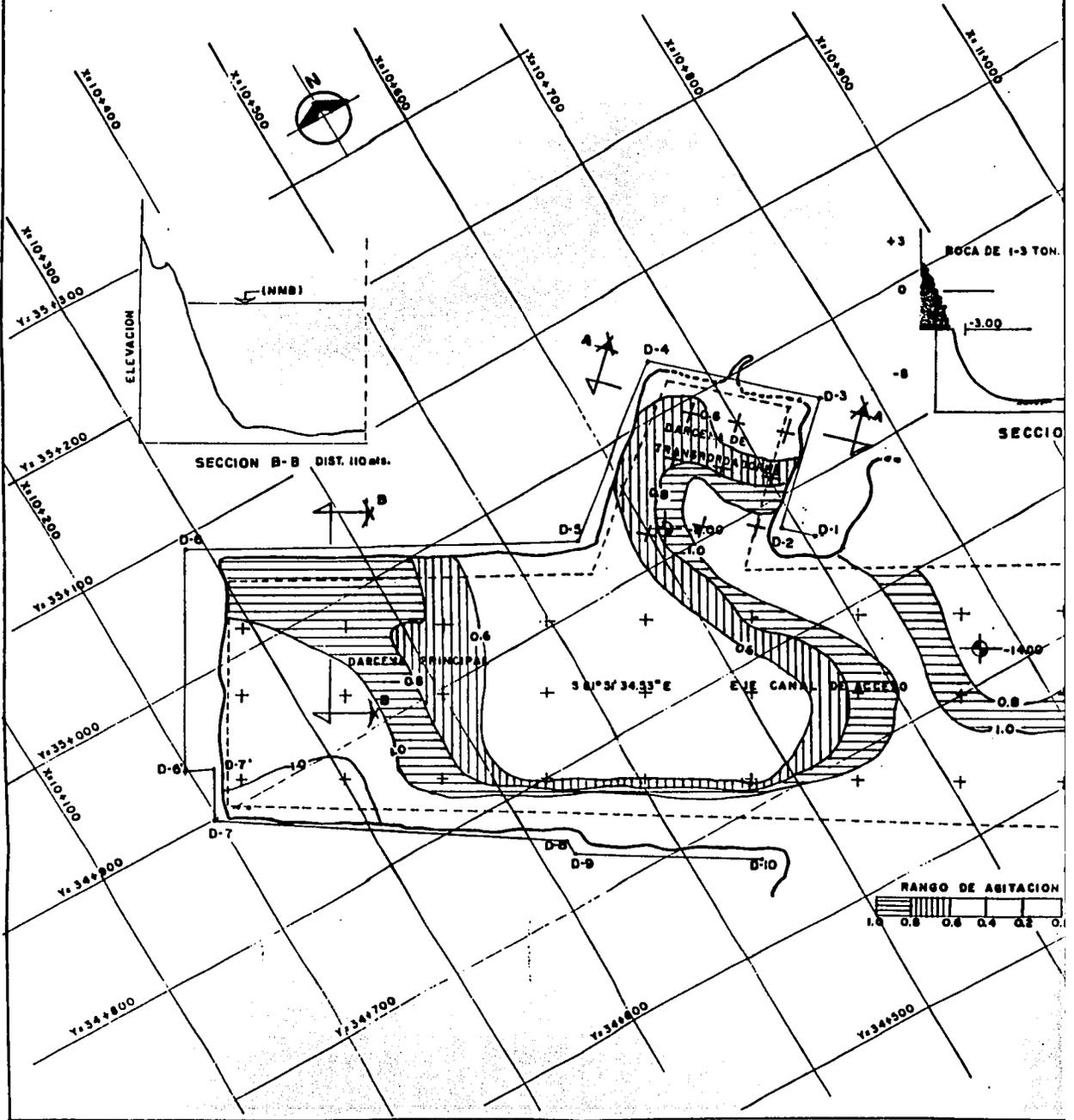
**- NOTAS -**

- EL NORTE CONSIDERADO ES EL ASTRONÓMICO
- ACOTACIONES EN METROS
- ELEVACIONES EN METROS REFERIDAS AL NIVEL DE BAJAMAR MEDIO INFERIOR (N.B.M.I.)
- EL MODELO SE CONSTRUYO DE FONDO FIJO A ESCALA 1:100 SIN DISTORSION
- LAS CURVAS INDICAN IGUAL COEFICIENTE DE AGITACION
- LOS ENSAYOS SE REALIZARON CON OLEAJE IRREGULAR
- LAS MOJONERAS QUE APARECEN EN EL PERIMETRO DE LA DARCENA, CORRESPONDEN AL APOYO TERRESTRE IMPLEMENTADO POR LA EMPRESA CALICA PARA EL CONTROL DE DRAGADO
- LA LINEA "O" REPRESENTA LA SUPERFICIE DEL AGUA
- LAS DIMENSIONES DE LA DARCENA CORRESPONDEN A LAS MEDICIONES EN EL SITIO LOS DIAS 27 A 29 DE MARZO DE 1990.

**ENER ARAGON UN.A.M.**

|                   |  |  |               |
|-------------------|--|--|---------------|
| TESIS PROFESIONAL |  | NOMBRE:  |               |
| CARRERA:          |  | JORGE RODRIGUEZ CHAVEZ                             |               |
| INGENIERIA CIVIL  |  | PERIODO: 13 500                                    | DIRECCION: SE |
| PLANO             | ESC: 1:500                                   | ESTUDIO: AGITACION                                 |               |
| 9                 | FECHA:                                       | TERMINAL DE TRANSBORDADORES EN KCARET QUINTANA ROO |               |
| ENSAYO 6          | CON TALUD DE ENROCAMIENTO 2:1 SIN AMPLIACION |  |               |

FALLA DE ORIGEN



ELEVACION

SECCION B-B DIST. 110 mts.

BOCA DE 1-3 TON.

SECCIO

DARCELA PRINCIPAL

EJE CANAL DE ALLEJO

RANGO DE ABITACION

1.0 0.8 0.6 0.4 0.2 0.1

$34.53^{\circ}E$

-1400

+3

0

-3.00

-8

A X

A X

B X

-1400

X: 10,900

X: 10,850

X: 10,800

X: 10,750

X: 10,700

X: 10,650

X: 11,000

Y: 35,300

Y: 35,200

Y: 10,300

Y: 35,100

Y: 35,000

Y: 10,200

Y: 34,900

Y: 34,800

Y: 34,700

Y: 34,600

Y: 34,500

D-6

D-5

D-4

D-3

D-2

D-1

D-6

D-7

D-8

D-9

D-10

(NMB)

BOCA DE 1-3 TON.

SECCIO

DARCELA PRINCIPAL

EJE CANAL DE ALLEJO

RANGO DE ABITACION

1.0 0.8 0.6 0.4 0.2 0.1

$34.53^{\circ}E$

-1400

+3

0

-3.00

-8

A X

A X

B X

-1400

X: 10,900

X: 10,850

X: 10,800

X: 10,750

X: 10,700

X: 10,650

X: 11,000

Y: 35,300

Y: 35,200

Y: 10,300

Y: 35,100

Y: 35,000

Y: 10,200

Y: 34,900

Y: 34,800

Y: 34,700

Y: 34,600

Y: 34,500

D-6

D-5

D-4

D-3

D-2

D-1

D-6

D-7

D-8

D-9

D-10

(NMB)

BOCA DE 1-3 TON.

SECCIO

DARCELA PRINCIPAL

EJE CANAL DE ALLEJO

RANGO DE ABITACION

1.0 0.8 0.6 0.4 0.2 0.1

$34.53^{\circ}E$

-1400

+3

0

-3.00

-8

A X

A X

B X

-1400

X: 10,900

X: 10,850

X: 10,800

X: 10,750

X: 10,700

X: 10,650

X: 11,000

Y: 35,300

Y: 35,200

Y: 10,300

Y: 35,100

Y: 35,000

Y: 10,200

Y: 34,900

Y: 34,800

Y: 34,700

Y: 34,600

Y: 34,500

D-6

D-5

D-4

D-3

D-2

D-1

D-6

D-7

D-8

D-9

D-10

(NMB)

BOCA DE 1-3 TON.

SECCIO

DARCELA PRINCIPAL

EJE CANAL DE ALLEJO

RANGO DE ABITACION

1.0 0.8 0.6 0.4 0.2 0.1

$34.53^{\circ}E$

-1400

+3

0

-3.00

-8

A X

A X

B X

-1400

X: 10,900

X: 10,850

X: 10,800

X: 10,750

X: 10,700

X: 10,650

X: 11,000

Y: 35,300

Y: 35,200

Y: 10,300

Y: 35,100

Y: 35,000

Y: 10,200

Y: 34,900

Y: 34,800

Y: 34,700

Y: 34,600

Y: 34,500

D-6

D-5

D-4

D-3

D-2

D-1

D-6

D-7

D-8

D-9

D-10

(NMB)

BOCA DE 1-3 TON.

SECCIO

DARCELA PRINCIPAL

EJE CANAL DE ALLEJO

RANGO DE ABITACION

1.0 0.8 0.6 0.4 0.2 0.1

$34.53^{\circ}E$

-1400

+3

0

-3.00

-8

A X

A X

B X

-1400

X: 10,900

X: 10,850

X: 10,800

X: 10,750

X: 10,700

X: 10,650

X: 11,000

Y: 35,300

Y: 35,200

Y: 10,300

Y: 35,100

Y: 35,000

Y: 10,200

Y: 34,900

Y: 34,800

Y: 34,700

Y: 34,600

Y: 34,500

D-6

D-5

D-4

D-3

D-2

D-1

D-6

D-7

D-8

D-9

D-10

(NMB)

BOCA DE 1-3 TON.

SECCIO

DARCELA PRINCIPAL

EJE CANAL DE ALLEJO

RANGO DE ABITACION

1.0 0.8 0.6 0.4 0.2 0.1

$34.53^{\circ}E$

-1400

+3

0

-3.00

-8

A X

A X

B X

-1400

X: 10,900

X: 10,850

X: 10,800

X: 10,750

X: 10,700

X: 10,650

X: 11,000

Y: 35,300

Y: 35,200

Y: 10,300

Y: 35,100

Y: 35,000

Y: 10,200

Y: 34,900

Y: 34,800

Y: 34,700

Y: 34,600

Y: 34,500

D-6

D-5

D-4

D-3

D-2

D-1

D-6

D-7

D-8

D-9

D-10

(NMB)

BOCA DE 1-3 TON.

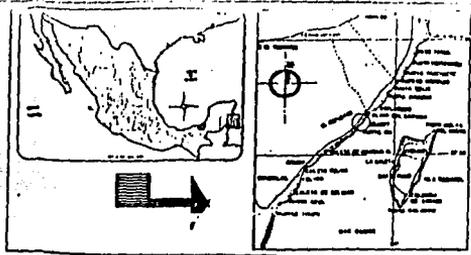
SECCIO

DARCELA PRINCIPAL

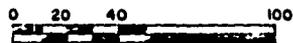
EJE CANAL DE ALLEJO

RANGO DE ABITACION

1.0 0.8 0.6 0.



LOCALIZACION

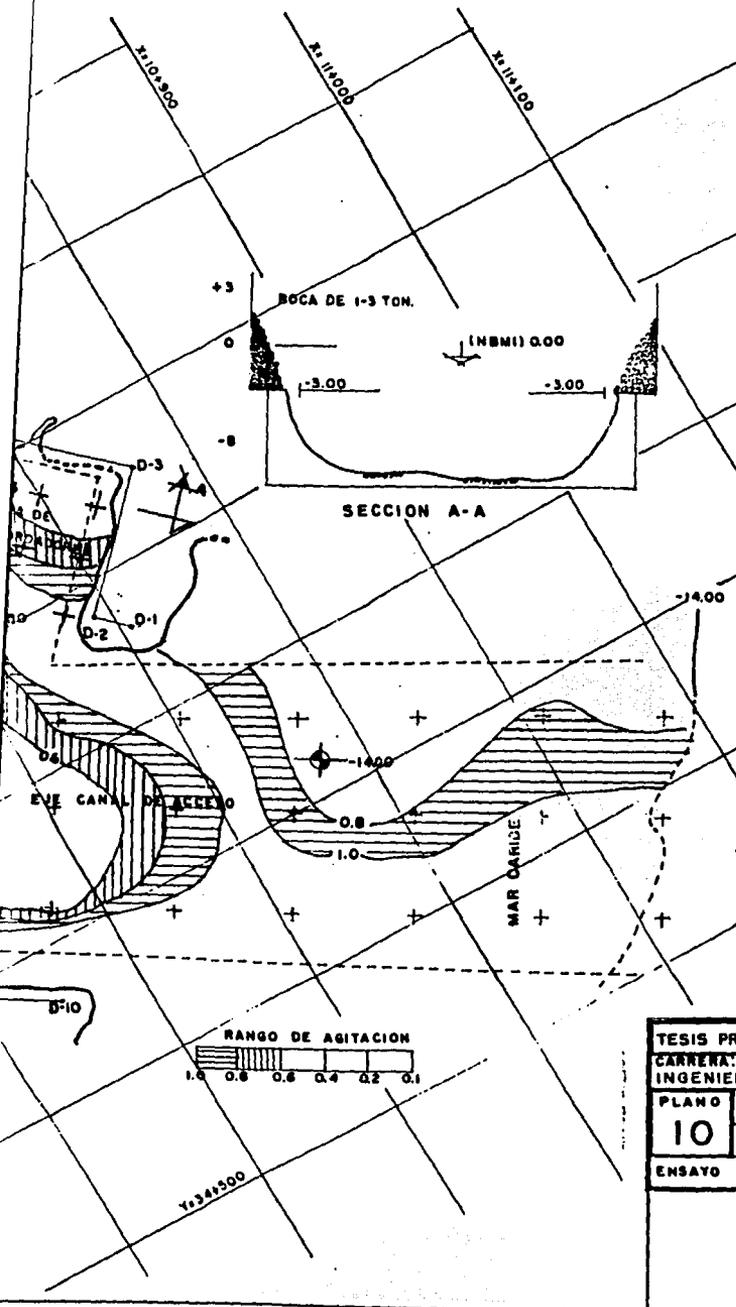


ESCALA GRAFICA

**- NOTAS -**

- EL NORTE CONSIDERADO ES EL ASTRONOMICO
- ACOTACIONES EN METROS
- ELEVACIONES EN METROS REFERIDAS AL NIVEL DE BAJAMAR MEDIO INFERIOR (N.B.M.I.)
- EL MODELO SE CONSTRUYO DE FONDO FIJO A ESCALA 1:100 SIN DISTORSION
- LAS CURVAS INDICAN IGUAL COEFICIENTE DE AGITACION
- LOS ENSAYOS SE REALIZARON CON OLEAJE IRREGULAR
- LAS MOJONERAS QUE APARECEN EN EL PERIMETRO DE LA DARCENA, CORRESPONDEN AL APOYO TERRESTRE IMPLEMENTADO POR LA EMPRESA CALICA PARA EL CONTROL DE DRAGADO
- LA LINEA "0" REPRESENTA LA SUPERFICIE DEL AGUA
- LAS DIMENSIONES DE LA DARCENA CORRESPONDEN A LAS MEDICIONES EN EL SITIO LOS DIAS 27 A 29 DE MARZO DE 1990.

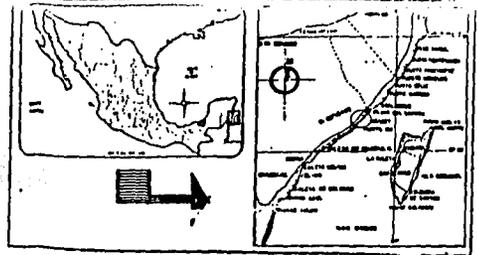
SECCION A-A



**E.N.E.P. ARAGON U.N.A.M.**

|                   |  |  |  |
|-------------------|--|--|--|
| TESIS PROFESIONAL |  | NOMBRE:  |  |
| CARRERA:          |  | JORGE RODRIGUEZ CHAVEZ                             |  |
| INGENIERIA CIVIL  | PERIODO: 3 seg.                              | DIRECCION: SUR                                     |  |
| PLANO             | ESC: 1:1500                                  | ESTUDIO: AGITACION                                 |  |
| 10                | FECHA:                                       | TERMINAL DE TRANSBORDADORES EN XCARET QUINTANA ROO |  |
| ENSAYO 7          | CON TALUD DE ENROCAMIENTO 2:1 SIN AMPLIACION |  |  |

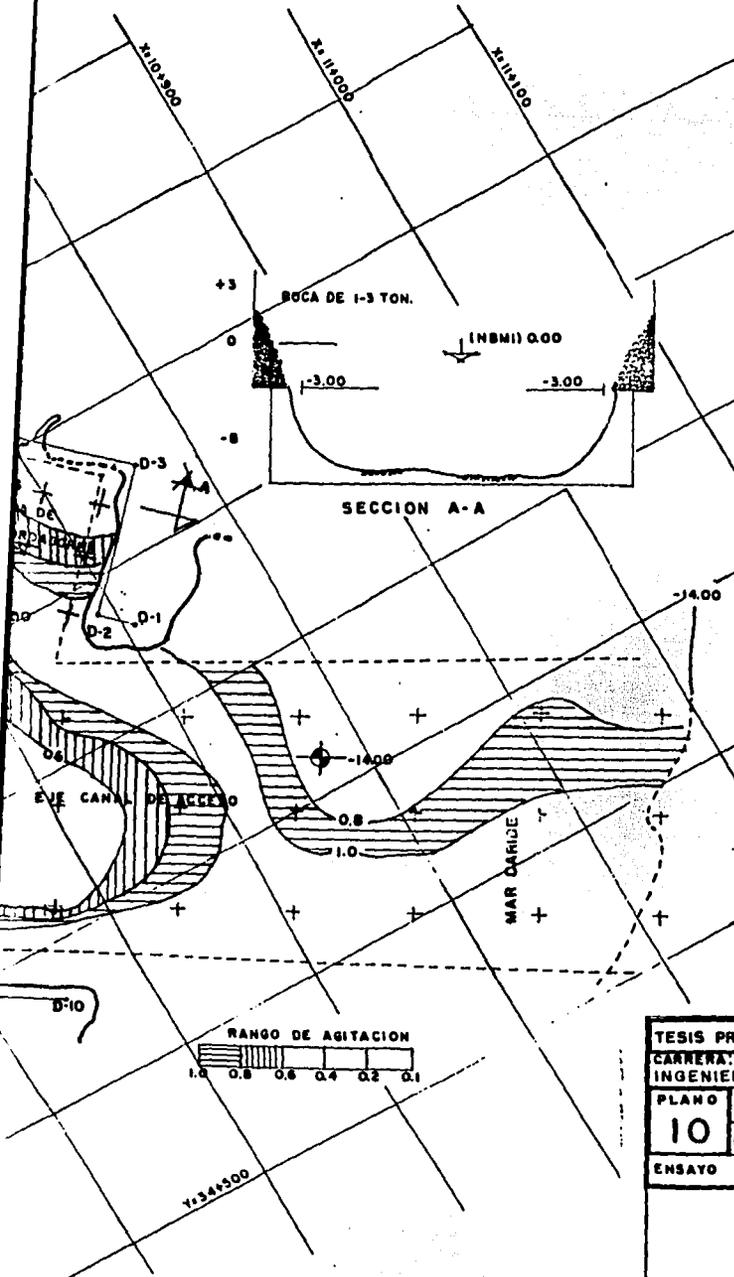
FALLA DEL INGEN



LOCALIZACION



ESCALA GRAFICA



SECCION A-A

**- NOTAS -**

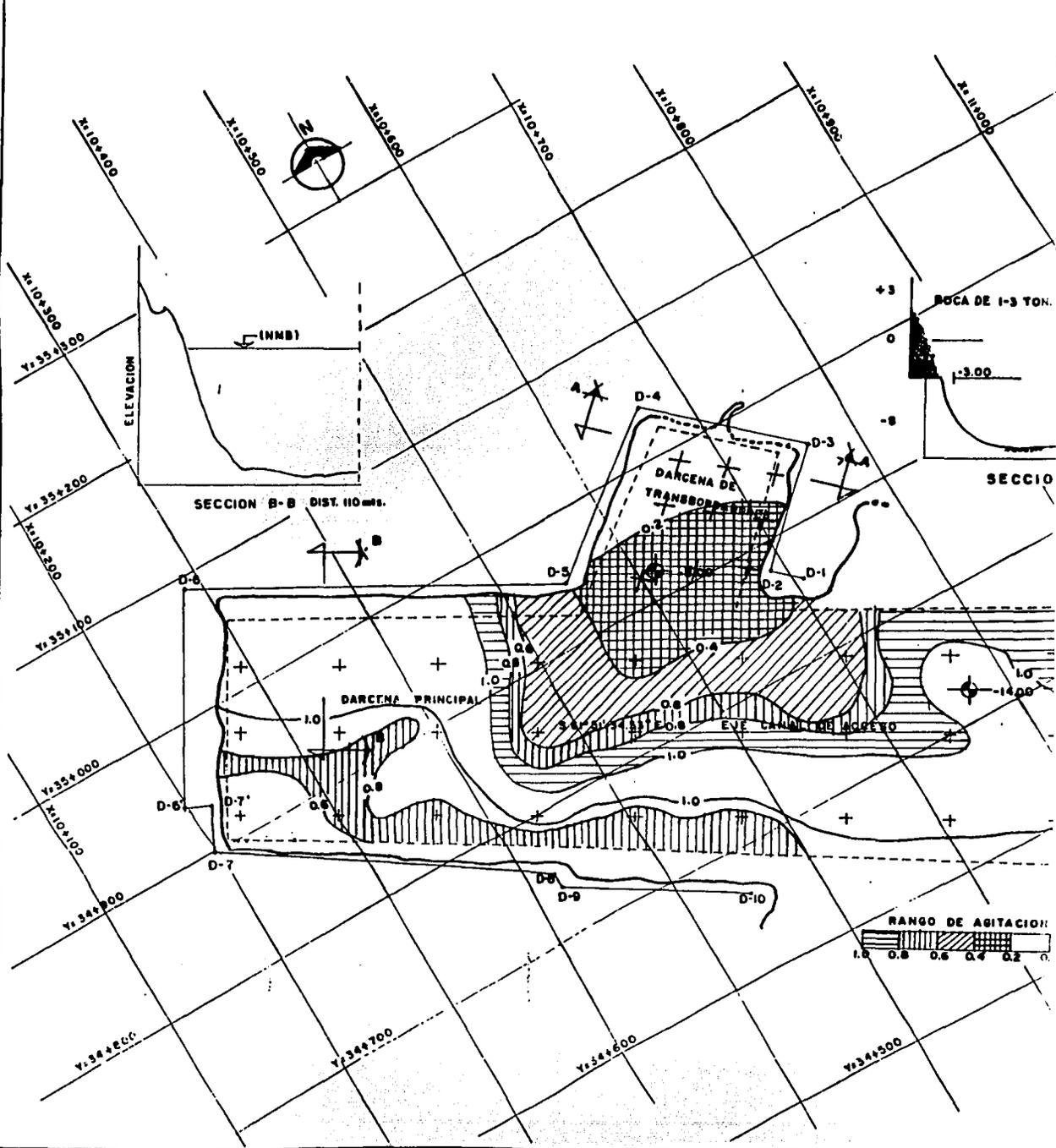
- EL NORTE CONSIDERADO ES EL ASTRONOMICO
- ACOTACIONES EN METROS
- ELEVACIONES EN METROS REFERIDAS AL NIVEL DE BAJAMAR MEDIO INFERIOR (N.B.M.I.)
- EL MODELO SE CONSTRUYO DE FONDO FIJO A ESCALA 1:100 SIN DISTORSION
- LAS CURVAS INDICAN IGUAL COEFICIENTE DE AGITACION
- LOS ENSAYOS SE REALIZARON CON OLEAJE IRREGULAR
- LAS MOJONERAS QUE APARECEN EN EL PERIMETRO DE LA DARCENA, CORRESPONDEN AL APOYO TERRESTRE IMPLEMENTADO POR LA EMPRESA CALICA PARA EL CONTROL DE DRAGADO
- LA LINEA "0" REPRESENTA LA SUPERFICIE DEL AGUA
- LAS DIMENSIONES DE LA DARCENA CORRESPONDEN A LAS MEDICIONES EN EL SITIO LOS DIAS 27 A 29 DE MAR. C. 25 1990.

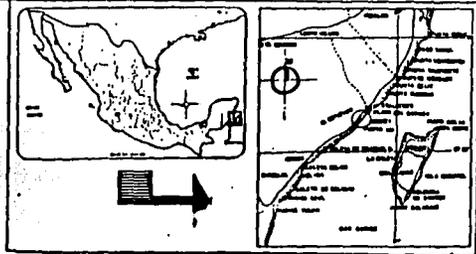


**ENER ARAGON U.N.A.M.**

|                   |             |  |                |
|-------------------|-------------|--|----------------|
| TESIS PROFESIONAL |             | NOMBRE:  |                |
| CARRERA:          |             | JORGE RODRIGUEZ CHAVEZ   |                |
| INGENIERIA CIVIL  |             | PERIODO: 3 seg.  | DIRECCION: SUR |
| PLANO             | ESC: 1:1500 | ESTUDIO:   |                |
| 10                | FECHA:      | AGITACION<br>TERMINAL DE TRANSBORDADORES<br>EN XCARET QUINTANA ROO |                |
| ENSAYO 7          |             | CON TALUD DE ENROCAMIENTO 2:1 SIN AMPLIACION                       |                |

FALLA DE ORIGEN

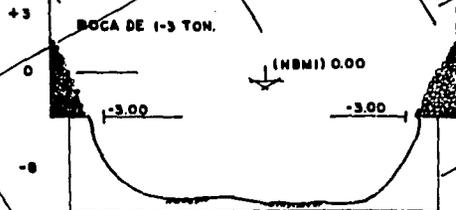




LOCALIZACION



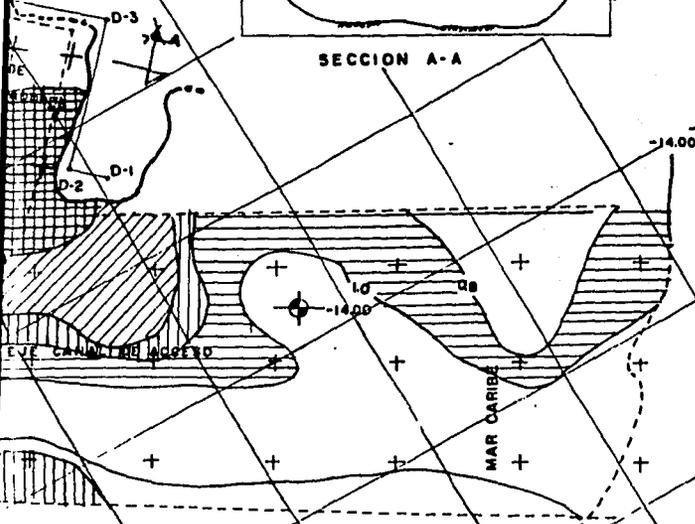
ESCALA GRAFICA



SECCION A-A

**- NOTAS -**

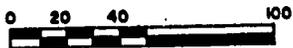
- EL NORTE CONSIDERADO ES EL ASTRONÓMICO
- ACOTACIONES EN METROS
- ELEVACIONES EN METROS REFERIDAS AL NIVEL DE BAJAMAR MEDIO INFERIOR (N.B.M.I.)
- EL MODELO SE CONSTRUYO DE FONDO FIJO A ESCALA 1:100 SIN DISTORSION
- LAS CURVAS INDICAN IGUAL COEFICIENTE DE AGITACION
- LOS ENSAYOS SE REALIZARON CON OLEAJE IRREGULAR
- LAS MOJONERAS QUE APARECEN EN EL PERIMETRO DE LA DARCENA, CORRESPONDEN AL APOYO TERRESTRE IMPLEMENTADO POR LA EMPRESA CALICA PARA EL CONTROL DE DRAGADO
- LA LINEA "0" REPRESENTA LA SUPERFICIE DEL AGUA
- LAS DIMENSIONES DE LA DARCENA CORRESPONDEN A LAS MEDISIONES EN EL SITIO LOS DIAS 27 A 29 DE MARZO DE 1990.



**E.N.E.P. ARAGON U.N.A.M.**

|                           |  |   |  |
|---------------------------|--|---|--|
| TESIS PROFESIONAL         |  | NOMBRE: JORGE RODRIGUEZ CHAVEZ  |  |
| CARRERA: INGENIERIA CIVIL | PERIODO: 13 <sup>seg.</sup>                  | DIRECCION: SUR  |  |
| PLANO: 11                 | ESC: 1:1500                                  | ESTUDIO: AGITACION TERMINAL DE TRANSBORDADORES EN XCARET QUINTANA ROO |  |
| ENSAJO 8                  | CON TALUD DE ENROCAMIENTO 2:1 SIN AMPLIACION |   |  |

FALLA DE ORIGEN

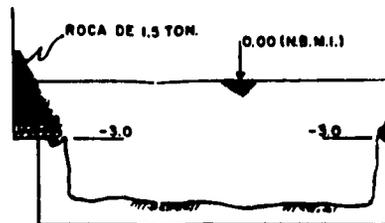


ESCALA GRAFICA

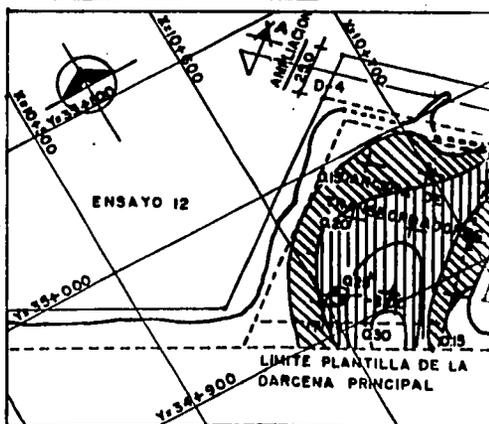
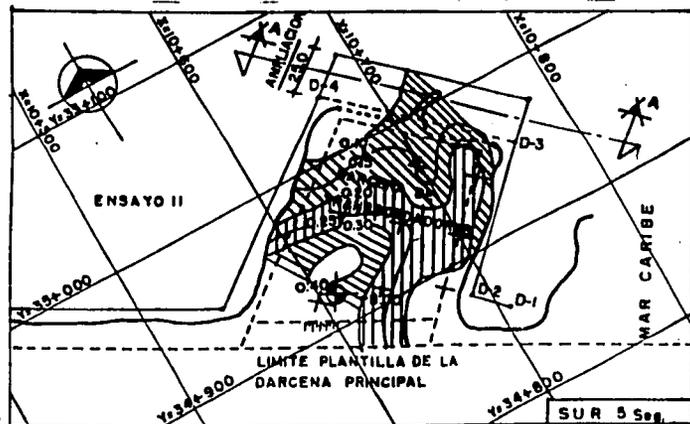
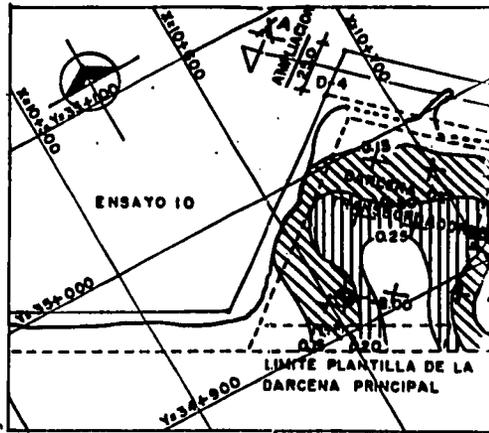
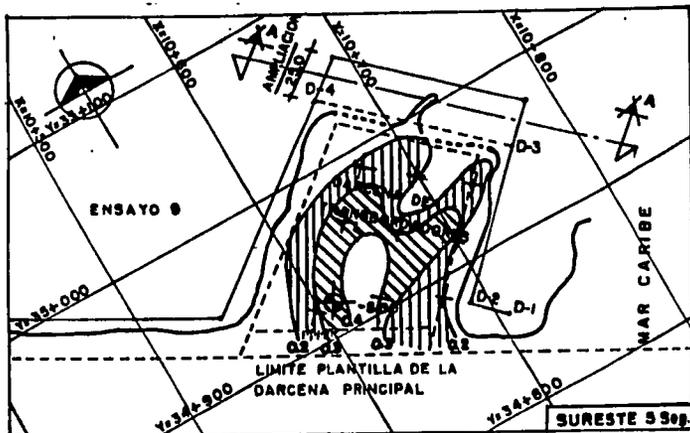


0.10 0.20 0.30 0.40

RANGOS DE AGITACION



SECCION A-A



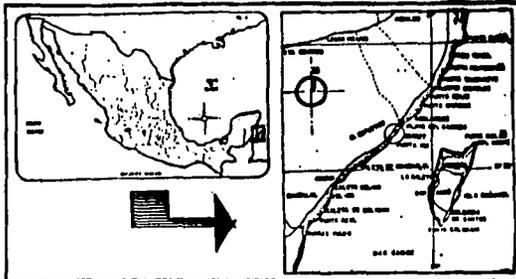
DE 1.5 TOM.

0.00 (N.B.M.I.)

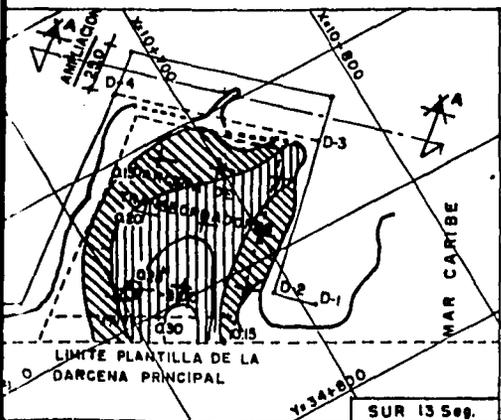
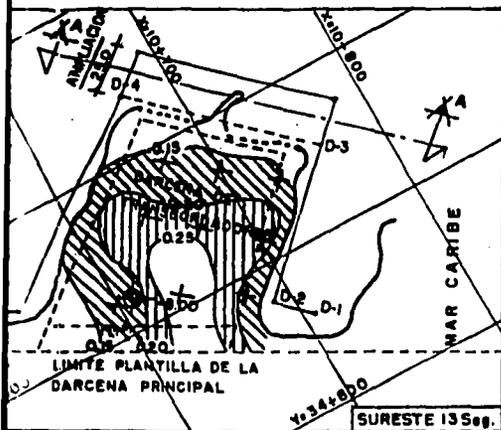
1.0

-3.0

SECCION A-A



LOCALIZACION



**- NOTAS -**

- EL NORTE CONSIDERADO ES EL ASTRONÓMICO
- ACOTACIONES EN METROS
- ELEVACIONES EN METROS REFERIDAS AL NIVEL DE BAJAMAR MEDIO INFERIOR (N.B.M.I.)
- EL MODELO SE CONSTRUYÓ DE FONDO FIJO A ESCALA 1:100 SIN DISTORSIÓN
- LAS CURVAS INDICAN IGUAL COEFICIENTE DE AGITACIÓN
- LOS ENSAYOS SE REALIZARON CON OLEAJE IRREGULAR
- LAS MOJONERAS QUE APARECEN EN EL PERÍMETRO DE LA DARCENA, CORRESPONDEN AL APOYO TERRESTRE IMPLEMENTADO POR LA EMPRESA CALICA PARA EL CONTROL DE DRAGADO
- LA LÍNEA "O" REPRESENTA LA SUPERFICIE DEL AGUA
- LAS DIMENSIONES DE LA DARCENA CORRESPONDEN A LAS MEDICIONES EN EL SITIO LOS DÍAS 27 A 29 DE MARZO DE 1990.

**E.N.E.P. ARAGON U.N.A.M.**

|                   |  |                             |                   |
|-------------------|--|-----------------------------|-------------------|
| TESIS PROFESIONAL |  | NOMBRE:                     |                   |
| CARRERA:          |  | JORGE RODRIGUEZ CHAVEZ      |                   |
| INGENIERIA CIVIL  |  | PERIODO: 5 y 13 SEG.        | DIRECCION: S y SE |
| PLANO             | ESC: 1:1500                                      | ESTUDIO:                    |                   |
| 12                |  | AGITACION                   |                   |
|                   | FECHA:   | TERMINAL DE TRANSBORDADORES |                   |
|                   |  | EN XCARET QUINTANA ROO      |                   |
| ENSAYO            | CON TALUD DE ENROCAMIENTO 2:1 AMPLIACION 25 MTS. |                             |                   |

HALLA EN...

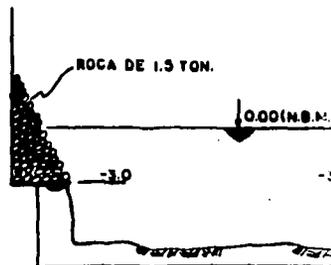
0 20 40 100

ESCALA GRAFICA

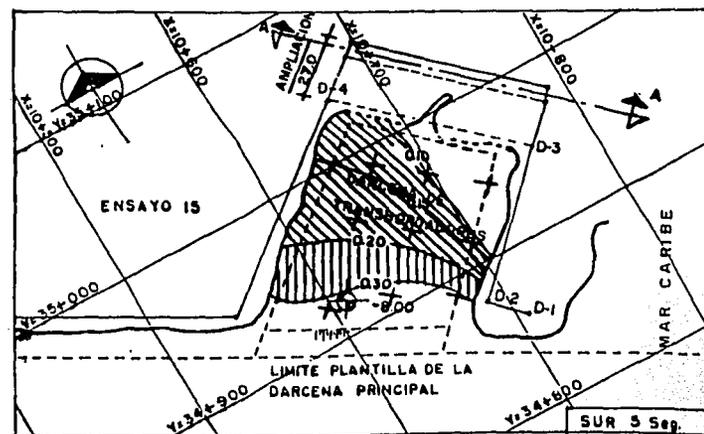
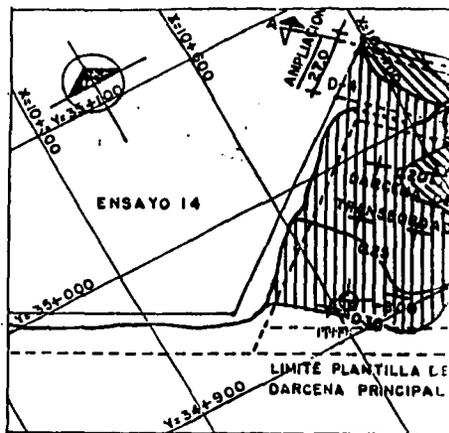
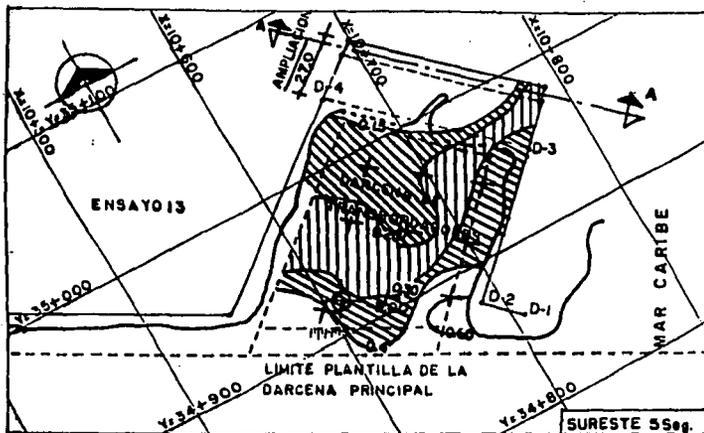


0.10 0.20 0.30 0.40

RANGOS DE AGITACION



SECCION A-A



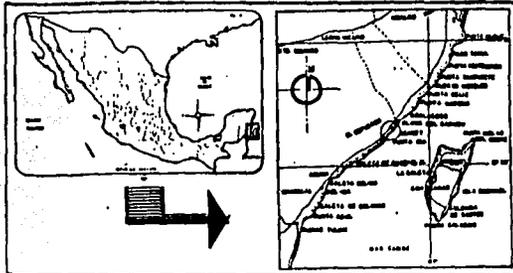
ROCA DE 1.3 TON.

0.00 (N.B.M.I.)

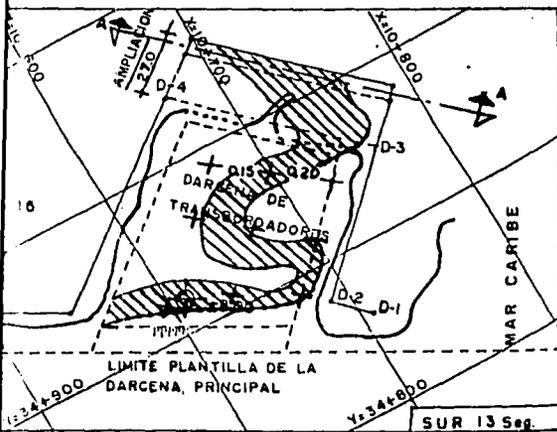
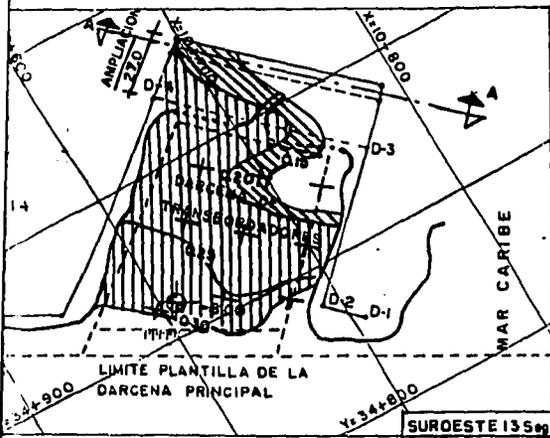
-3.0

-3.0

SECCION A-A



LOCALIZACION

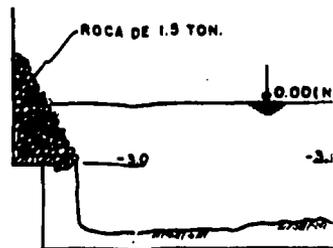


**- NOTAS -**

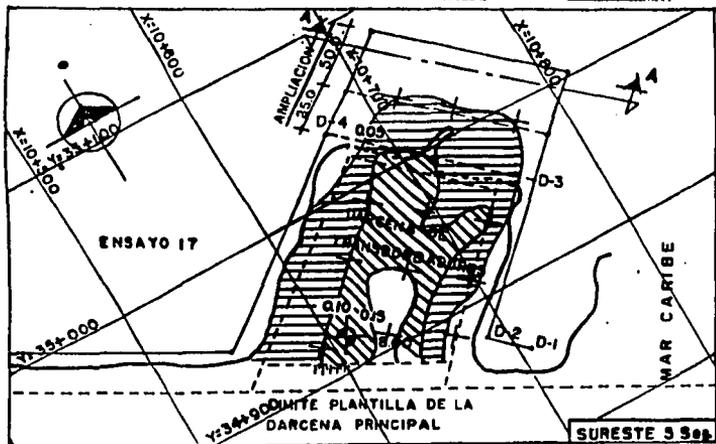
- EL NORTE CONSIDERADO ES EL ASTRONÓMICO
- ACOTACIONES EN METROS
- ELEVACIONES EN METROS REFERIDAS AL NIVEL DE BAJAMAR MEDIO INFERIOR (N.B.M.I.)
- EL MODELO SE CONSTRUYÓ DE FONDO FIJO A ESCALA 1:100 SIN DISTORSIÓN
- LAS CURVAS INDICAN IGUAL COEFICIENTE DE AGITACIÓN
- LOS ENSAYOS SE REALIZARON CON OLEAJE IRREGULAR
- LAS MOJONERAS QUE APARECEN EN EL PERÍMETRO DE LA DARCENA, CORRESPONDEN AL APOYO TERRESTRE IMPLEMENTADO POR LA EMPRESA CALICA PARA EL CONTROL DE DRAGADO
- LA LÍNEA "0" REPRESENTA LA SUPERFICIE DEL AGUA
- LAS DIMENSIONES DE LA DARCENA CORRESPONDEN A LAS MEDICIONES EN EL SITIO LOS DÍAS 27 A 29 DE MARZO DE 1990.

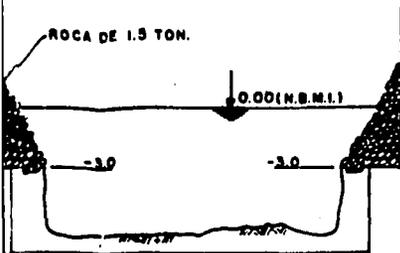
**E.N.E.P. ARAGÓN U.N.A.M.**

|                           |             |   |                   |
|---------------------------|-------------|---|-------------------|
| TESIS PROFESIONAL         |             | NOMBRE: JORGE RODRIGUEZ CHAVEZ                    |                   |
| CARRERA: INGENIERIA CIVIL |             | PERIODO: 5 y 13 Sem                               | DIRECCION: S y SE |
| PLANO                     | ESC: 1:1500 | ESTUDIO: AGITACION                                |                   |
| 13                        | FECHA:      | TERMINAL DE TRANSBORDADORES EN XCRET QUINTANA ROO |                   |
| ENSAYO                    |             | CON TALUD DE ENROCAMIENTO 2:1 AMPLIACION 37 MTS.  |                   |

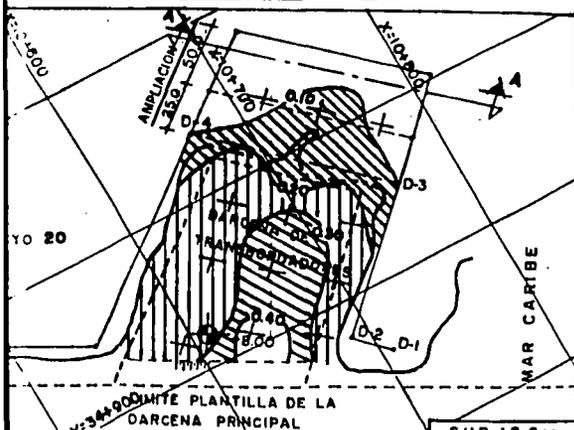
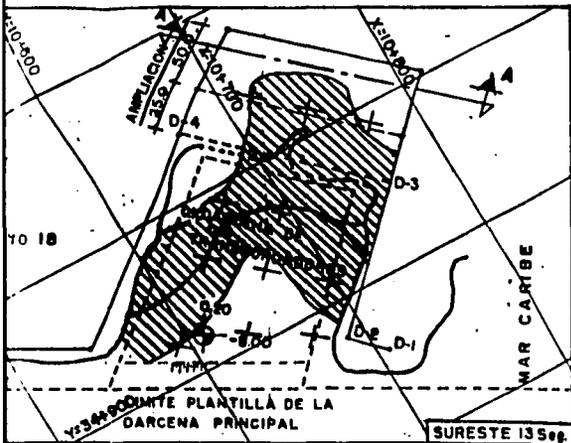
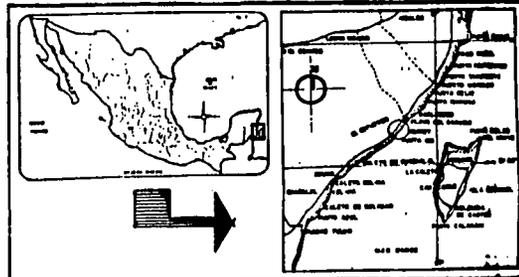


SECCION A-A





SECCION A-A

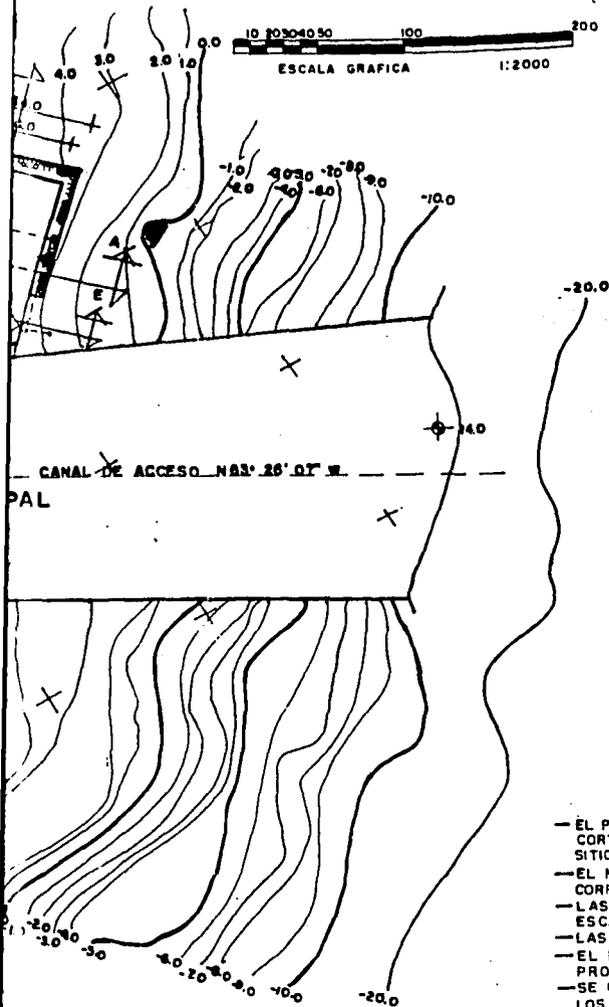
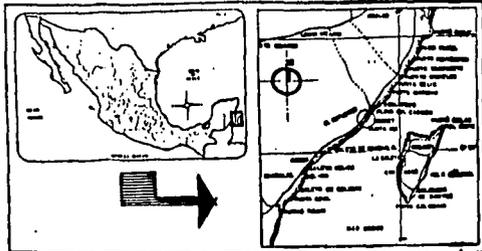


- NOTAS -**
- EL NORTE CONSIDERADO ES EL ASTRONÓMICO
  - ACOTACIONES EN METROS
  - ELEVACIONES EN METROS REFERIDAS AL NIVEL DE BAJAMAR MEDIO INFERIOR (N.B.M.I.)
  - EL MODELO SE CONSTRUYÓ DE FONDO FIJO A ESCALA 1:100 SIN DISTORSIÓN
  - LAS CURVAS INDICAN IGUAL COEFICIENTE DE AGITACIÓN
  - LOS ENSAYOS SE REALIZARON CON OLEAJE IRREGULAR
  - LAS MOJONERAS QUE APARECEN EN EL PERÍMETRO DE LA DARCENA, CORRESPONDEN AL APOYO TERRESTRE IMPLEMENTADO POR LA EMPRESA CALICA PARA EL CONTROL DE DRAGADO
  - LA LÍNEA "0" REPRESENTA LA SUPERFICIE DEL AGUA
  - LAS DIMENSIONES DE LA DARCENA CORRESPONDEN A LAS MEDICIONES EN EL SITIO LOS DÍAS 27 A 29 DE MARZO DE 1990.

**E.N.E.P. ARAGON U.N.A.M.**

|                   |             |  |                    |
|-------------------|-------------|--|--------------------|
| TESIS PROFESIONAL |             | NOMBRE:  |                    |
| CARRERA:          |             | JORGE RODRIGUEZ CHAVEZ   |                    |
| INGENIERIA CIVIL  |             | PERIODO: 8 y 13 seg.   | DIRECCION: S y SE. |
| PLANO             | ESC: 1:1500 | ESTUDIO:   |                    |
| 14                | FECHA:      | AGITACION<br>TERMINAL DE TRANSBORDADORES<br>EN XCARET QUINTANA ROO |                    |
| ENSAYO            |             | CON TALLID DE ENROCAMIENTO 2:1 AMPLIACION 20 000                   |                    |





## LOCALIZACION

| ENROCAMIENTO PARA TALUDES AMORTIGUADORES |        |                       |                              |
|--|--------|-----------------------|------------------------------|
| DARCENA                                  |        |                       |                              |
| TRAMO                                    | L. (m) | ELEMENTO              | VOL. GEOM. (m <sup>3</sup> ) |
| I  | 80     | CUBOS DE CONC. 4 TON. | 2420.0 m <sup>3</sup>        |
| II, III                                  | 509    | ROCA 2 TON.           | 23,622 m <sup>3</sup>        |

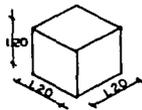
| TOTAL DE MATERIAL     |                       |
|-----------------------|-----------------------|
| ROCA DE 2 TON.        | 14,883 m <sup>3</sup> |
| CUBOS DE CONC. 4 TON. | 880 PIEZAS            |

| VOLUMEN DE DRAGADO |                        |
|--------------------|------------------------|
| TOTAL              | 134,989 m <sup>3</sup> |

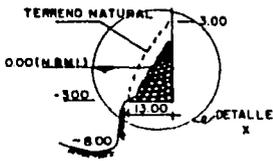
AMPLIACION DE LA DARCENA 75m Y CORTE PERIMETRAL DE TALUDES PARA COLOCACION DE ENROCAMIENTO.

## NOTAS

- EL PERFIL DEL TERRENO QUE SE MUESTRA EN CADA UNO DE LOS CORTES SE OBTUVO DEL SECCIONAMIENTO REALIZADO EN EL SITIO, LOS DIAS 27 a 29 DE MARZO DE 1990.
- EL NIVEL DE REFERENCIA DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES 0000 (N.M.M.) CORRESPONDEN AL NIVEL DE BAJAMAR MEDIO INFERIOR (N.M.M.).
- LAS ESCALAS DE TODOS LOS CORTES SON: ESC. HORIZ. 1:1000 Y LA ESC. VERT. 1:200.
- LAS ACOTACIONES Y ELEVACIONES ESTAN DADAS EN MTS.
- EL DETALLE "X" REPRESENTA LOS TALUDES DE ENROCAMIENTO PROPUESTO.
- SE CONSIDERO EL 40% DE VACIOS PARA CUANTIFICACION DE LOS CUBOS, Y EL 37% DE VACIOS PARA LA CUANTIFICACION DE VOLUMEN DE ENROCAMIENTO



P = 4.1 TON.  
V = 1.72 m<sup>3</sup>



CORTE 0-0

## E.N.E.P. ARAGON U.N.A.M.

|                           |      |   |            |
|---------------------------|------|---|------------|
| TESIS PROFESIONAL         |      | NOMBRE: JORGE RODRIGUEZ CHAVEZ  |            |
| CARRERA: INGENIERIA CIVIL |      | PERIODO:  | DIRECCION: |
| PLANO: 15                 | ESC: | ESTUDIO: AGITACION TERMINAL DE TRANSBORDADORES EN XCARET QUINTANA ROO |            |
| ENSAYO                    |      | CON TALUD DE ENROCAMIENTO 2:1   |            |

CAPITULO 6  
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en el modelo físico se llevo a las siguientes conclusiones y por lo tanto recomendaciones.

a) Debido a las dimensiones actuales de la dárcena de transbordadores, se presenta una alta concentración de energía de oleaje, como se muestra en los planos No. 6 al No. 9. Para minimizar dicha energía se probaron diferentes ampliaciones de la dárcena hacia el NR, que fueron de 25, 37 y 75 mts. respectivamente. La ampliación de la dárcena a 75 mts., fué la que presento la mínima agitación de acuerdo a los resultados experimentales que se muestran en el plano No. 14.

b) Debido a lo anterior se propone la alternativa de ampliación de la dárcena en 75 mts. Como óptima para la operación de los transbordadores.

c) Junto con la ampliación se propone colocar un talud de enrocamiento 2:1 desde la elevación del terreno natural hasta la profundidad de 3 mts., con roca de 1 a 3 toneladas en todo el contorno de la dárcena, excepto en los 80 mts. señalados en el plano 15 en la pared NW, dicho tramo estará reforzado por cubos de concreto de 4 toneladas con dimensiones de 1.20 x 1.20 x 1.20 mts. colocados en dos capas, lo cual se indica en el plano No. 15.

d) Cabe hacer mención que los datos mostrados en la tabla No. 6 del análisis de operatividad, los coeficientes de agitación y altura de ola indicadas son un promedio de lo que se presenta en toda la dárcena de transbordadores.

Sin embargo, con lo mostrado en los planos de agitación números 3 al 14 se concluye que en la zona de atraque de los transbordadores se presentan alturas de ola del 10 % con respecto a la generada en la profundidad de - 15 mts., la cual es menor a la altura permisible de operación para los transbordadores.

## BIBLIOGRAFIA

- Anaya, S.H. Tesis "Estudio en modelo hidraulico de la Presa Las Tortolas". Mexico 1966.
- Avila, A.D. "Sistema del experimento con el oleaje irregular". Texto para el Curso Internacional De Capacitacion en Ingenieria Hidraulica Portuaria. Agencia de Cooperacion Internacional del Japon. "Atlas of Sea and Swell Charts" US. Navy Oceanographic.
- Frias, V.A. "Ingenieria de Costas". Asociacion Mexicana de Ingenieria Portuaria A.C. Mexico 1988.
- Mataix, C. "Mecanica de fluidos y maquinas hidraulicas". - Harla. Mexico 1970.  
"Ocea Wave Stadistics". Laboratorio Nacional de Fisica.  
Ministerio de tecnologia de la Gran Bretana.  
"Quintana Roo". I.N.E.G.I.  
San Juan, G.F. "Apuntes de Ingenieria Experimental".  
Laboratorio de Idraulica Maritima
- Sotelo, A.G. "Hidraulica General". Vol. 1 Limusa. Mexico 1976.
- Sato, S. "Ley de Similitud del Experimento Fisico". - Texto para el Curso Internacional de Capacitacion en Ingenieria Portuaria. Agencia de Cooperacion Internacional de Japon.

"Tablas de Prediccion de Mareas 1990". Instituto de Geofisica ,UNAM 1990.

Vergara,S.M.A."Apuntes de Modelos Hidraulicos Maritimos"  
UNAM.

Webber,N.B "Mecanica de Fluidos para Ingenieros".Urmo. -  
Espana 1969.