

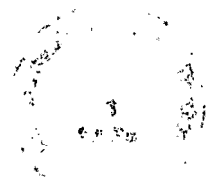
0837

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

FACULTAD DE INGENIERIA

TRABAJO FINAL PARA OPTAR POR LA  
ESPECIALIDAD EN CONSTRUCCION.



TEMA:

"ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE CONSTRUCCION DE UNA  
MARINA EN CANCUN, Q.R."

PRESENTA:

JOSE CARLOS BATISTA ELIAS

Tesis  
México, D.F.

Febrero, 1985.



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 esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



DEPFI

T. UNAM  
1985  
BAT

DEDICATORIA:

A Dios:

Porque me ha dado fé, perseverancia y tranquilidad espiritual.

A mis abuelos:

Porque me enseñaron la bondad, la caridad y el amor al prójimo y a Dios.

A mis padres:

Julio y Gilda, ya que sin su ayuda, apoyo y enseñanzas no sería el hombre que soy.

A mis hermanos:

Eduardo y Rosa Gilda y a mi cuñado Amadeo, por la confianza que siempre han depositado en mí.

A mis sobrinos:

Porque siempre me alentaron con su cariño.

A mis tíos y primos:

Por su amor y aliento, aun en la distancia.

A la Mtra. Argentina Patnella:

Quien siempre me ha tratado como su sobrino, por su apoyo y cariño.

A la República Dominicana:

La tierra que me vió nacer y donde me forjé profesionalmente.

A los profesores, autoridades y personal del Instituto Tecnológico de Santo Domingo (INTEC), que de una manera u otra influyeron y ayudaron en la realización de mis estudios a nivel de posgrado.

A los profesores, autoridades y personal de la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería (D.E.P.F.I.), en especial a los pertenecientes a la Sección de Construcción.

A la Unidad de Cómputos de la D.E.P.F.I.:

Especialmente al M. en I. Alejandro Villanueva, al Geog. Luis Miguel Morales y al Ing. Mauricio Alvarez, por haberme permitido el uso de los recursos de la Unidad y por su excelente asesoría.

A los Ingenieros Federico Beras, Jesús Gomez, Jorge Luis Huidobro, Ramiro Rendón y Carlos Contreras por su valiosa colaboración.

Al M. en I. Jaime Martínez Mier por su excelente asesoría en todo momento.

A mis compañeros de Especialización:

Por su estímulo, cariño y apoyo en todo momento.

A mis amigos:

Miguel Bachá, Luis A. Romero, Pedro Solano, Rafael Cabral e Iván Orjuela por su ayuda y comprensión. A Arlyn Muñoz por el cariño y apoyo que siempre recibí.

A todos, muchas gracias.

## I N D I C E

Cap.		Pag.
I	Introducción.	1
II	Planteamiento del Problema.	3
III	Condiciones Geotecnicas.	7
IV	Dragado.	26
V	Rellenos.	35
VI	Cimentaciones.	43
VII	Conclusiones.	53
VIII	Bibliografía.	55

## I

## INTRODUCCION

Desde tiempos inmemorables el mar ha ejercido una fuerte atracción sobre el ser humano.

El mar ha servido, y sirve aún, como vía de comunicación y comercio, como fuente alimenticia y de producción energética, y como marco para el desarrollo de diversas actividades deportivas.

Cada día un mayor número de personas busca en las zonas costeras un sitio para el descanso y disfrute de las variadas posibilidades que el mar ofrece. Esto explica el gran crecimiento turístico de estas zonas.

En los países en vías de desarrollo, la industria turística, conocida también como "la industria sin chimeneas", ha estado jugando un papel preponderante en la captación de divisas. Así, el desarrollo turístico de las áreas costeras tiene un interés particular.

Las costas mexicanas, ricas en bellezas naturales y recursos pesqueros, son aptas para este tipo de desarrollo. Ejemplo de esto lo tenemos en las zonas de Acapulco, Mazatlán, y más recientemente, en Ixtapa y Cancún.



Cancún, con sus finísimas arenas, bellos paisajes y facilidades turísticas de primer orden, ha sido objeto de grandes inversiones del sector público y del sector privado. Sus costas, bañadas por el Mar Caribe, poseen una belleza particular además de gozar de una tranquilidad habitual y buena pesca en sus aguas. Así, Cancún es el sitio ideal para los amantes de los deportes acuáticos.

Uno de los deportes acuáticos que ha visto un gran crecimiento en los últimos años, es la navegación deportiva. Esto ha sido posible porque las embarcaciones de pequeño calado son cada día más asequibles a un mayor número de personas, debido principalmente, al desarrollo de nuevos materiales de flotación más económicos y ligeros.

Se justifica, por lo tanto, un estudio de factibilidad para la construcción de una marina en esta zona, ya que seguramente tendrá una gran aceptación y demanda de parte de las personas amantes de la navegación deportiva.

En las próximas páginas, se llevará a cabo este estudio de factibilidad, de una manera clara, pero concisa. Esperamos que sirva, no sólo para el proyecto analizado, sino que sea también una guía para el análisis de otros proyectos de este tipo.

## II

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El objetivo de este trabajo es analizar la factibilidad de construcción de una marina en la ciudad de Cancún, Quintana Roo, México.

Cancún se localiza en la fracción oriente de la Península de Yucatán y está limitado al Este por el mar Caribe, al Oeste por el camino Puerto Juárez-Tulum, al Sur por Punta Nizuc y al Norte por Punta Cancún (Fig. 1). Cancún ha experimentado en los últimos años un gran crecimiento, tanto desde el punto de vista de la población, como desde el punto de vista de la infraestructura turística, y aún con muchos recursos por explotar en esta rama de la industria.

La marina, que estará localizada a un lado de la Laguna de Nichupte, dará servicio a yates recreativos y deportivos, los cuales son generalmente de poco calado. El dragado que debe realizarse para que este tipo de embarcación pueda utilizar la marina, deberá ser de  $-3.00$  m con respecto al nivel medio del

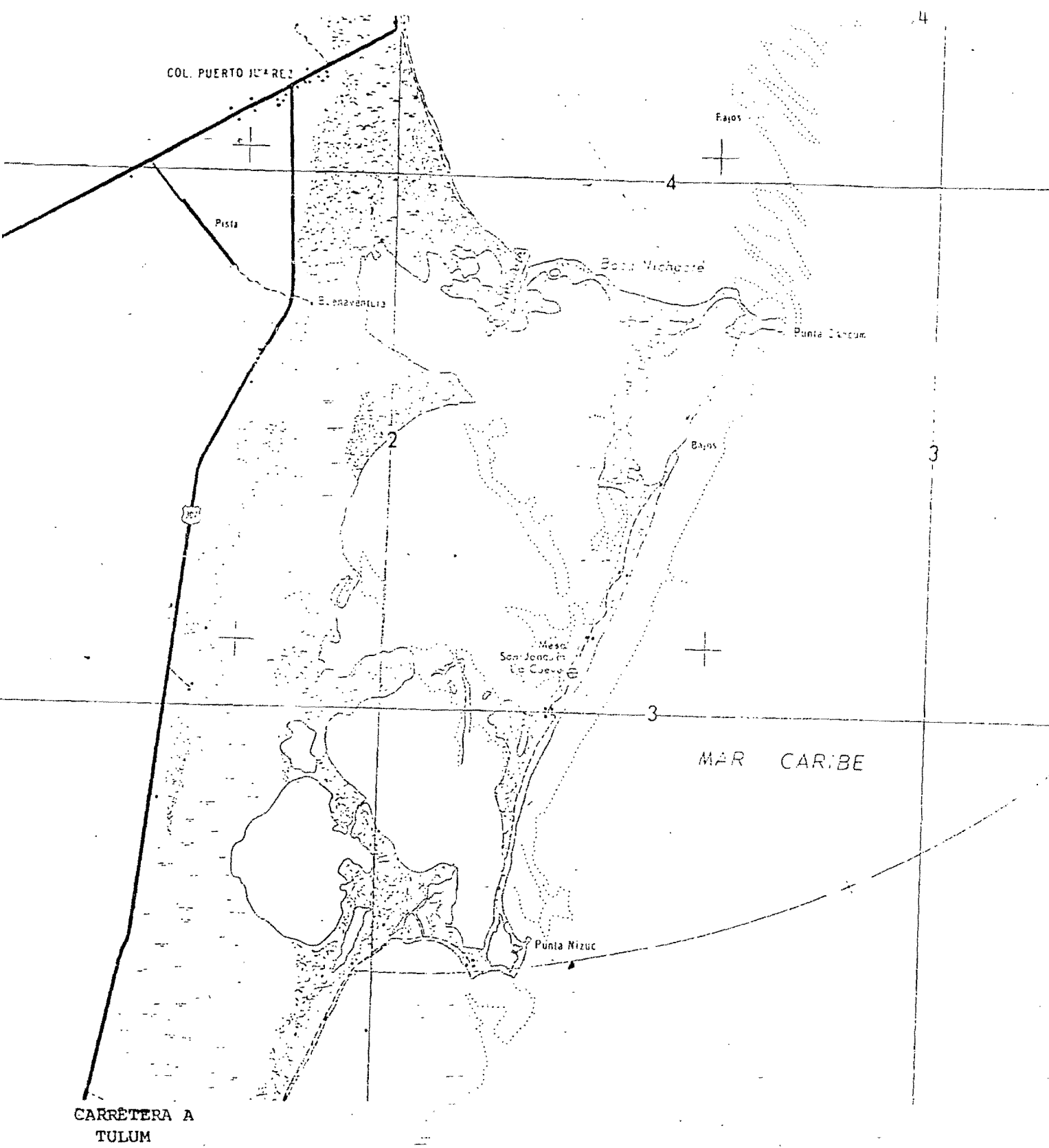


FIG. 1 MAPA GEOGRÁFICO DE CANCUN.

mar. El nivel medio del mar es 0.00 m; con pleamar de 0.24 m sobre el nivel medio del mar (S.N.M.M.) y bajamar de 0.20 m. La vegetación existente en la zona de construcción la conforman arbustos y mangle.

La planeación de la marina debe ajustarse a la idea de ser un centro recreacional, un sitio donde simplemente se busca el tener un lugar donde proteger el yate y que a la vez tenga la infraestructura física adecuada para disfrutar de actividades sociales y recreativas en un ambiente informal.

El desarrollo de este tipo de marina requiere no sólo buena protección en contra de las inclemencias del tiempo (rompeolas, revestimientos...), sino también de facilidades marinas y terrestres apropiadas. Las facilidades marinas deben incluir, además de la protección ya mencionada, las ayudas de navegación (boyas, luces de navegación...), estación de servicio para las embarcaciones y los atracaderos.

Las facilidades terrestres deben incluir edificaciones de uno o dos niveles que alojarían las oficinas administrativas y de supervisión, restaurantes y bares, salones de fiestas, baños y vestidores, taller de reparación de botes, tiendas (enseres marinos, alimentos...), estación de servicio para automóviles, etc. Otra utilidad que se le puede dar a estas edificaciones es el de tener en ellas apartamentos de una o dos habitaciones, los cuales podrían ser manejados como un hotel o aparta-hotel o

simplemente con el fin de rentarlos o venderlos. Además deben existir facilidades como estacionamiento para vehículos y lanchas que puedan ser atracadas en tierra, así como también una rampa de deslizamiento para embarcaciones.

Las edificaciones deberán encontrarse a una elevación suficiente respecto al nivel medio del mar para darles seguridad contra los embates naturales del agua. Se recomienda una altura de piso del primer nivel de 2.00 m S.N.M.M., por lo que habrá que rellenar en las áreas cuyos niveles sean inferiores, así como proteger los taludes expuestos al ataque del agua.

Los proyectos de esta naturaleza requieren de una gran inversión y generalmente tienen una tasa interna de retorno muy baja. Sin embargo, sería posible su ejecución por parte de una empresa privada, si cuenta con el apoyo económico del Estado. Este apoyo económico es factible debido al positivo impacto económico y turístico que tendría en la región este proyecto, impacto que está asegurado debido al gran auge que actualmente está experimentando el deporte de la pesca en la zona, así como por los diferentes modelos de yates que han sido desarrollados con el fin de hacerlos asequibles a un mayor número de personas amantes del mar.

## III

## CONDICIONES GEOTECNICAS

## GEOLOGIA REGIONAL

La Península de Yucatán es una unidad constituida por sedimentos calcáreos marinos del Cenozoico. Representa una extensa planicie que forma parte de la provincia geográfica de la Llanura del Golfo y del Caribe, con características morfológicas y estructurales bastante uniformes. Los sedimentos calcáreos constituyen una gran plataforma con bajas elevaciones sobre el nivel del mar, siendo la máxima la correspondiente a la Sierra Yucateca, con una altitud de 126 m y extendiéndose dicha plataforma bajo las aguas del Golfo de México con una pendiente muy reducida para formar el Banco de Campeche.

Los rasgos fisiográficos que presenta esta región son de tipo cárstico\* y corresponden a un estado de erosión intermedio dentro del ciclo geomorfológico. En las calizas existen cavidades y conductos de disolución que varían desde pequeños poros hasta cavernas muy grandes.

\* Cárstico: Terreno donde abundan los hundimientos debidos a la disolución de las rocas calizas, o el paisaje correspondiente.

La superficie de la roca está formada, con pocas excepciones, por una capa muy compacta cuyo espesor varía de 0 a 4 m. Probablemente las condiciones de sedimentación en un ambiente epinerítico\* y de evaporación contribuyeron a un endurecimiento mayor de las capas superiores con respecto a las más profundas.

En gran número de excavaciones se observa un material friable\*\*, blanquecino, conocido localmente como "sahcab" que es una roca calcárea no consolidada, cuya consistencia parece indicar que el lodo calcáreo del cual procede se depositó como calcita y, por tanto, no ocurrió la consolidación. También se le da el nombre de sahcab a algunas calizas y coquinas cretosas de consistencia análoga.

El espesor de sahcab más comúnmente encontrado varía de 2 a 4 m. Se puede encontrar subyacente a una capa superficial de caliza compacta, descansando sobre caliza suave; interestratificada con capas delgadas de caliza; o aflorando en la superficie como en el sureste de la península. En Cancún se ha clasificado el material llamado sahcab y se ha encontrado con una granulometría de 93% de arena y 7% de finos, correspondiendo al grupo SW-SM según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). (Ref. 8)

\* Epinerítico: Ambiente cercano a la playa o al mar.

\*\* Friable: Se dice de la roca o mineral que se puede desmenuzar fácilmente.

La configuración típica de la región esta representada por sucesivas dunas de arena endurecida que descansan sobre la roca caliza de la plataforma continental, existiendo entre ellas lagunas y pantanos. Sobre estas dunas de arena cementada, el viento ha acumulado una faja de 11 km de longitud, 400 m de anchura y de unos 12 m de espesor que se le conoce como Isla Cancún pero que, en realidad, constituye un cordón litoral, y es una de las formaciones más jóvenes dentro de la Península de Yucatán.

En terminos geológicos, en la zona donde se localiza la ciudad de Cancún aflora la Formación Carrillo Puerto descrita, según J. Butterlin (1958), de la siguiente manera:

"Los niveles inferiores están cubiertos por calizas duras ricas en peneróplidas\*. Pasan más arriba a calizas cada vez más impuras a veces arcillosas de color amarillento o rojizo. La alteración de estas calizas da nacimiento a arcillas lateríticas rojas, acumuladas en las dolinas\*\* y protegidas por la selva densa. Los niveles superiores de la formación están representados por calizas blancas, duras, masivas. Los echados observados son débiles, a veces nulos, generalmente orientados hacia el NNE."

\* Peneróplidas: Fósil caracterizado por tener caparazón calizo.

\*\* Dolinas: Depresión con forma de embudo formada como consecuencia de la disolución de las calizas.



Por las características antes señaladas y otras como son la estratificación de capas de diferente dureza y espesor y la existencia de algunas cavidades subterráneas, se puede concluir que la formación es cárstica.

Estratigráficamente existen fundamentalmente tres áreas identificables: la zona de la ciudad, la isla y por último, la avenida que las une (Fig. 2).

La zona 1 se localiza en particular en el área de la ciudad, dentro del continente. Se distingue por un depósito superficial de tierra vegetal cuyo espesor varía de 0.10 a 1.00 m. Subyaciendo a esta capa aparece una roca caliza que presenta diversos grados de dureza, desde roca sana hasta sahcab, el cual es común encontrarlo rellenando las fracturas arriba del nivel freático. La zona 2 se identifica en la zona hotelera, o sea prácticamente la franja de tierra que constituye la Isla de Cancún. La zona 3 se localiza en las riberas de las lagunas y en la zona de "marisma", que en época de lluvias se inunda con un tirante pequeño, o bien en las zonas de laguna que han sido rellenadas (Ref. 2).

#### EXPLORACIONES REALIZADAS

En el sitio donde se proyecta construir la marina se realizaron seis sondeos representativos del lugar.

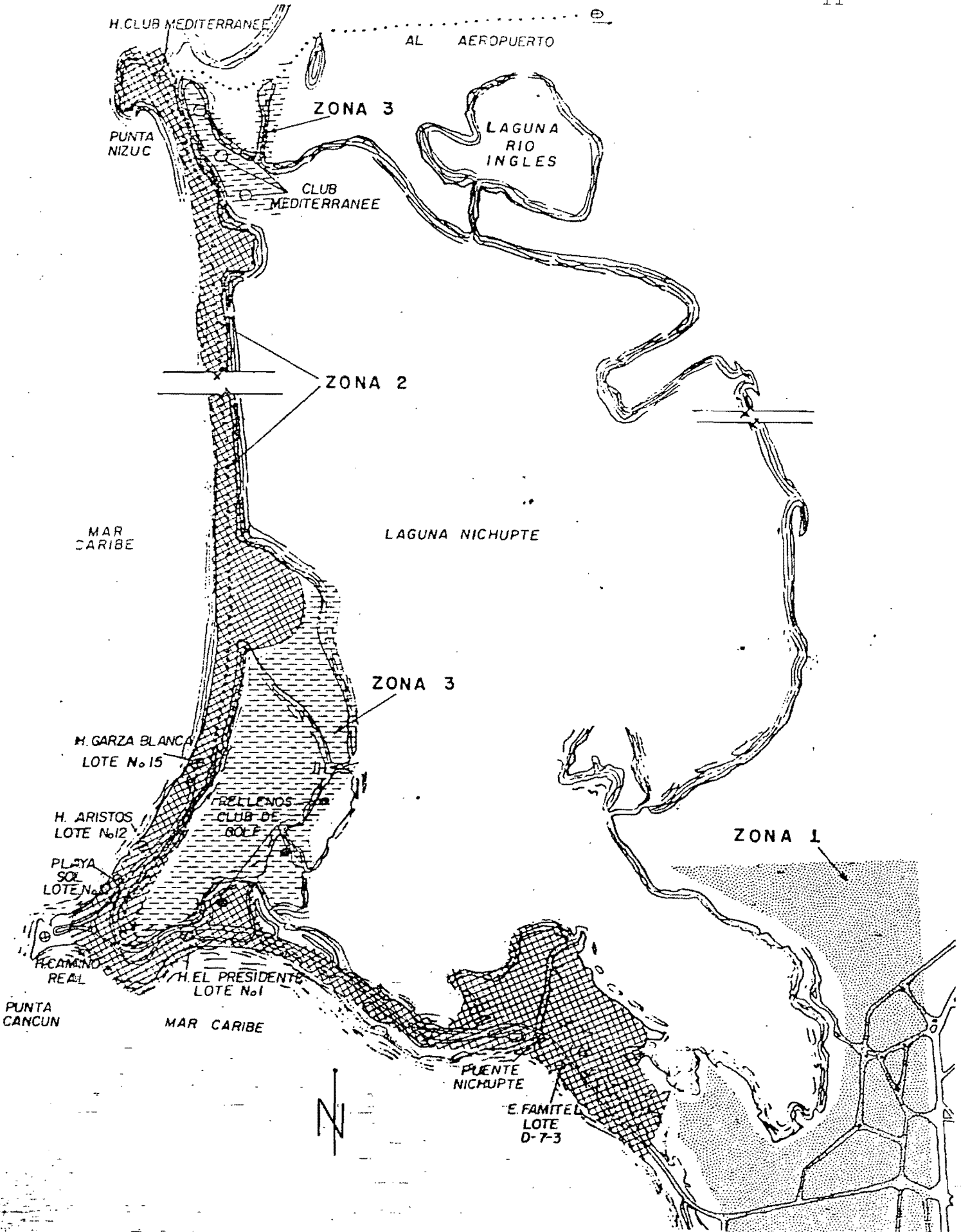


FIG. 2 MAPA ZONIFICADO DE CANCUN

En la Fig. 3 se muestra el anteproyecto de la marina y la localización de los seis sondeos, cuyos resultados aparecen en las Figs. 4 a 9.

La marina se sitúa en la zona 1, vecina a la ciudad de Cancún. Las características estratigráficas de la zona definidas en sondeos reportados en la Ref. 2 (Fig. 10), son similares a las encontradas en los seis sondeos realizados para la marina.

En las Figs. 4 a 9 se anota, para cada sondeo, su elevación del brocal, el tipo de suelo o roca encontrado, el índice de calidad de la roca (ICR), la resistencia al corte en compresión no confinada, el porcentaje de absorción, y su peso volumétrico.

La elevación de los brocales está referida al nivel medio del mar. Se observa que la pendiente disminuye hacia la laguna, por lo que en la fracción poniente el volumen por dragar será mayor que en la fracción oriente.

La roca encontrada es caliza fosilífera porosa de calidad pobre a buena. En los sondeos S-4 y S-5 se observa un tirante de agua seguido por una capa de suelo orgánico con raíces que yace sobre la roca caliza. En el sondeo S-6 ya hay un mayor tirante de agua y una capa de turba blanda yaciendo sobre la roca caliza.

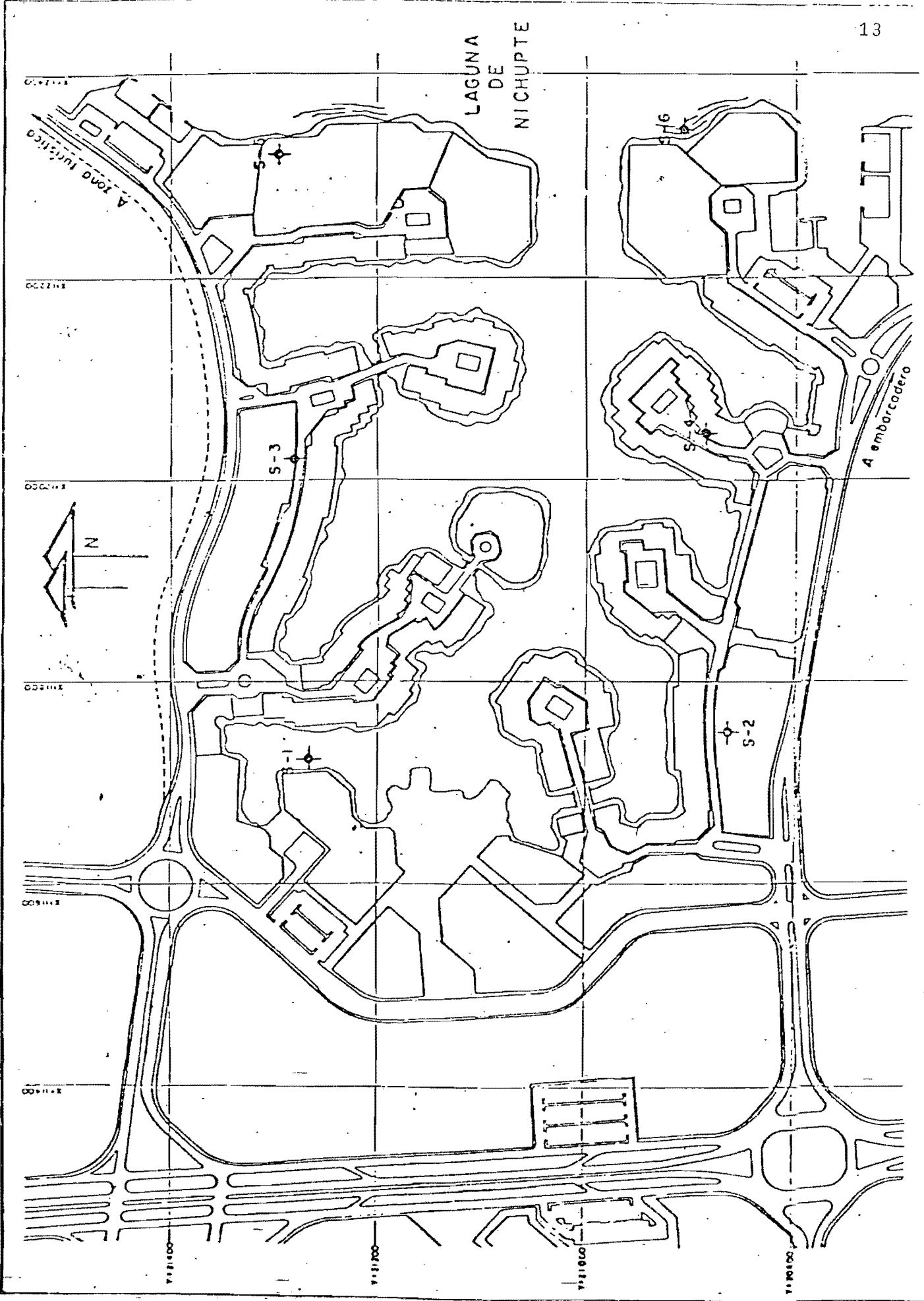
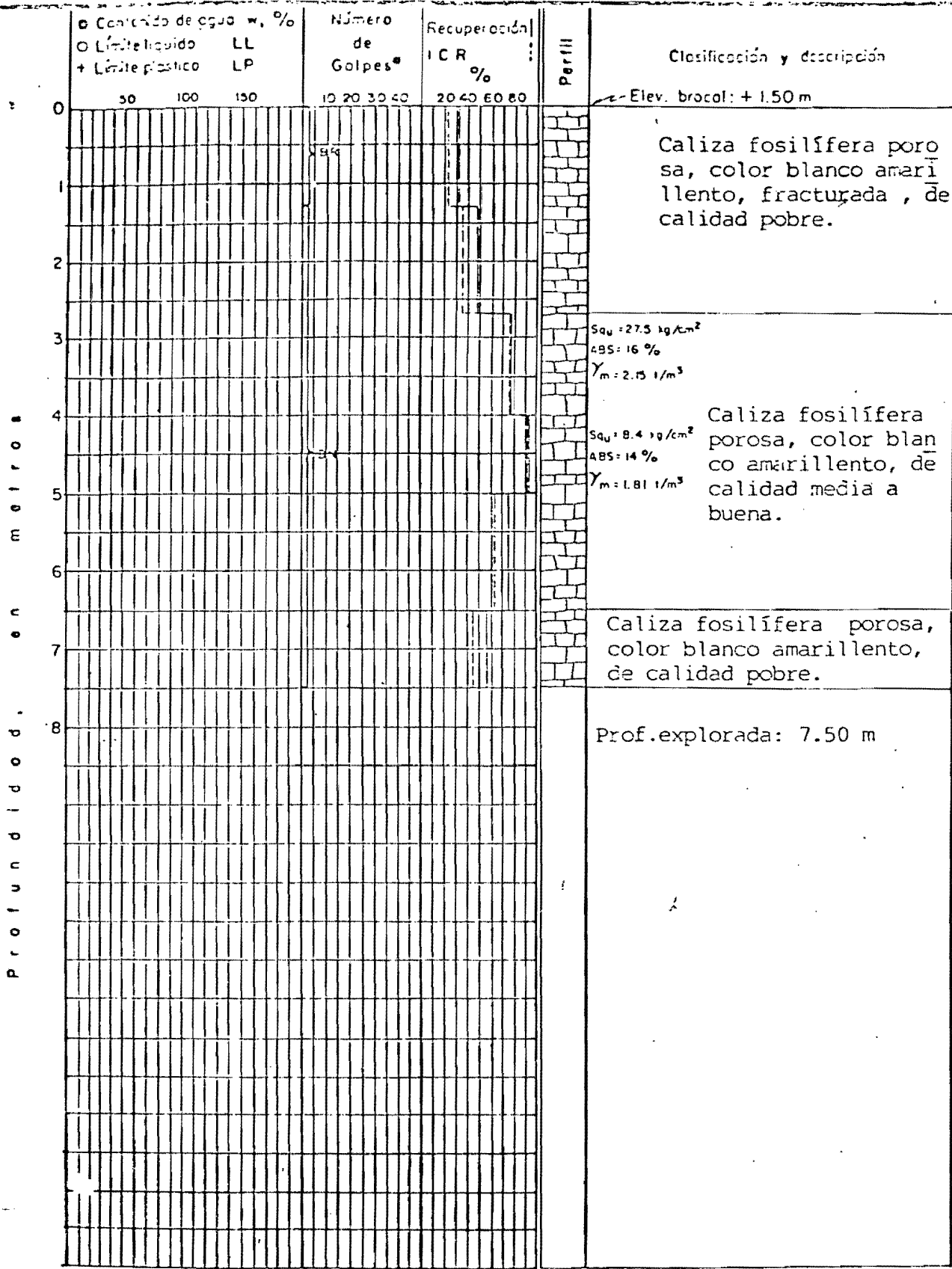
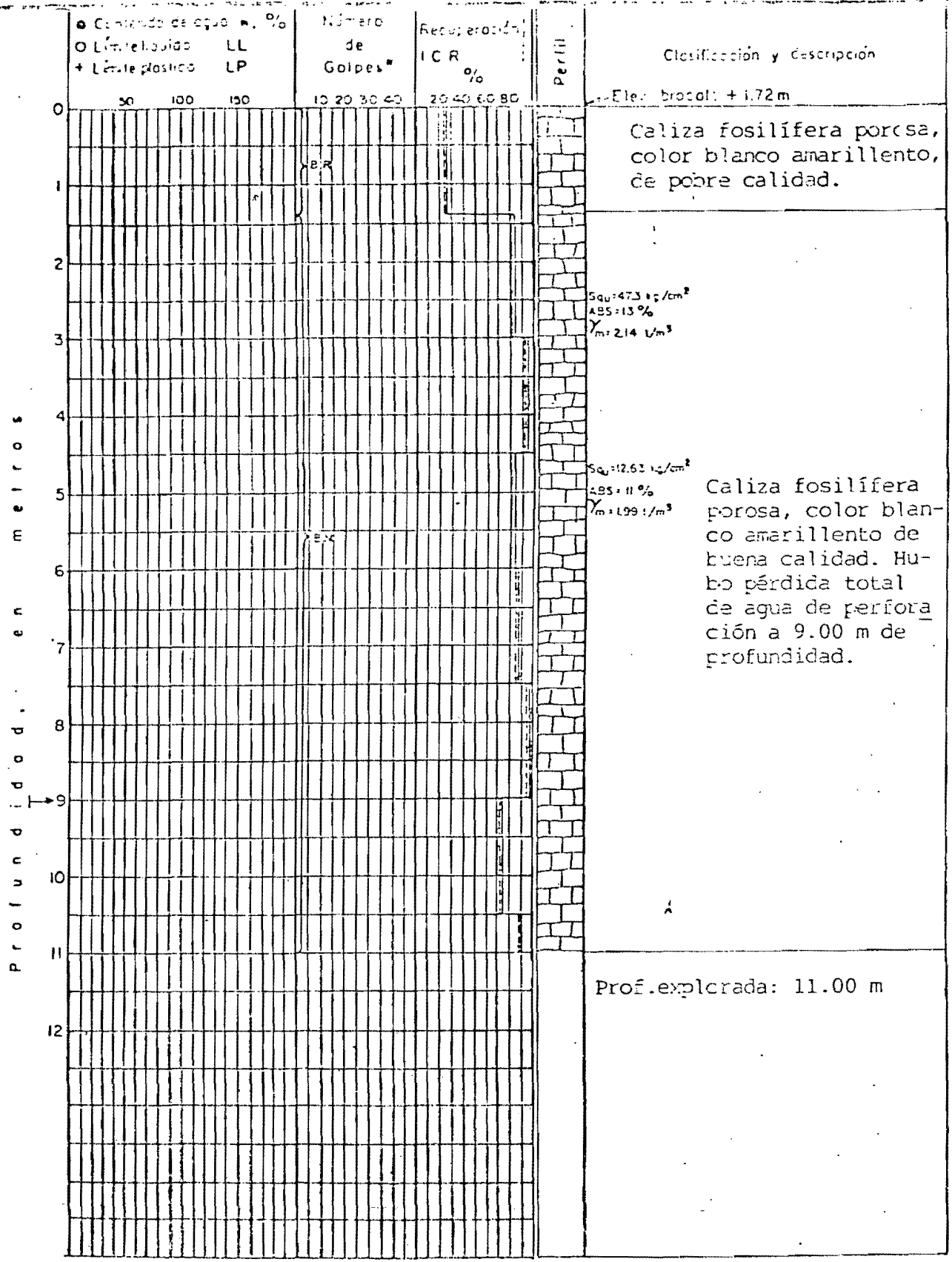


Fig. 3 Ubicación final de sondeos



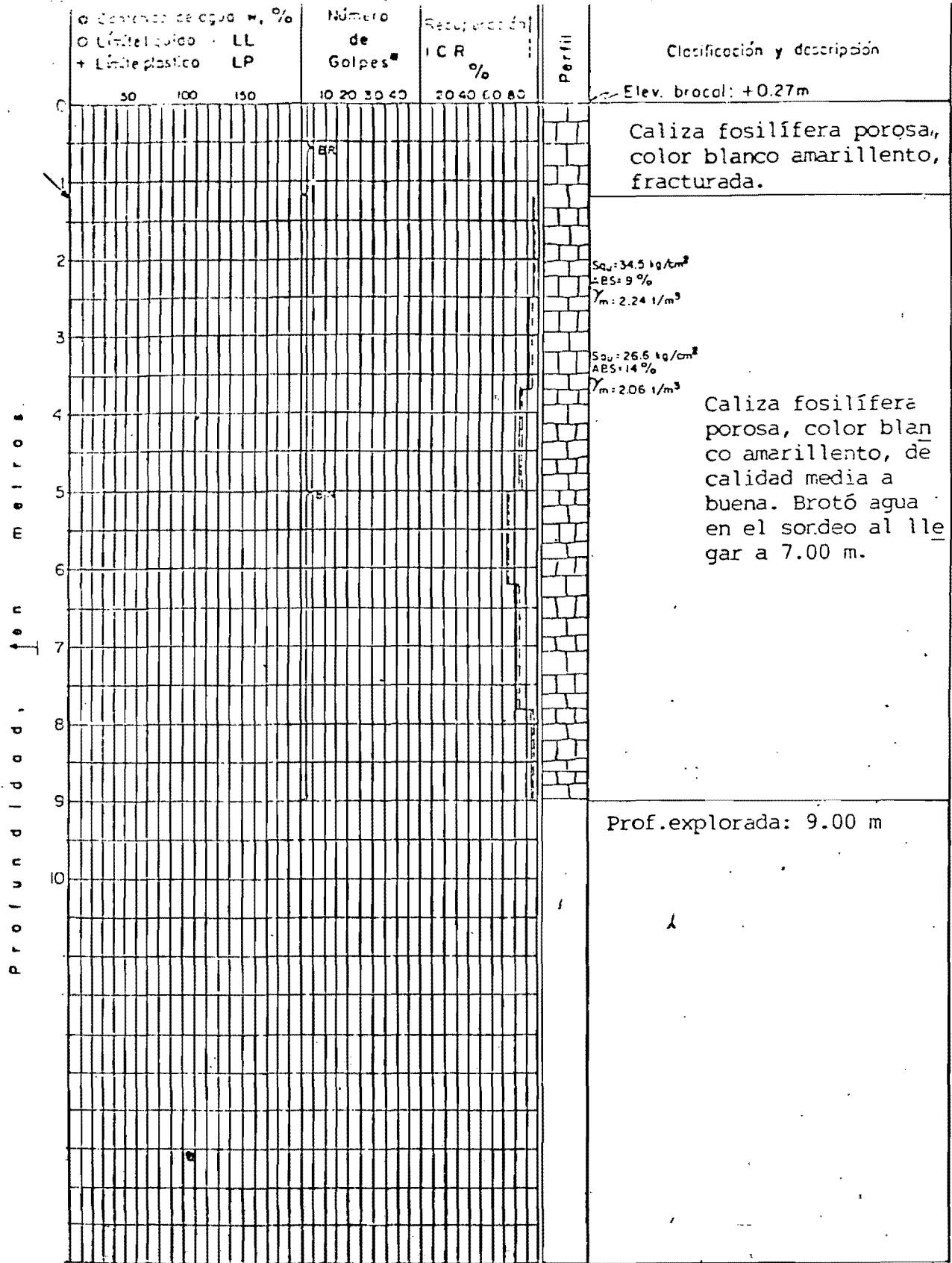
- Arcilla
- Limo
- Arena S
- Grava G
- Caliza
- BR Barril rompedor
- Penetración estándar 45/75 Golpes/cm
- Squ Resistencia al corte en compresión no confinada
- BN Barril N
- A Avance sin muestreo
- MP Muestra perdida
- Prof del ademe
- ABS Absorción
- ICR Indice de calidad de taroca (ROD)
- Brotó agua
- Pérdida total de agua

Fig. 4 Estratigrafía y propiedades del subsuelo en el sondeo S-1



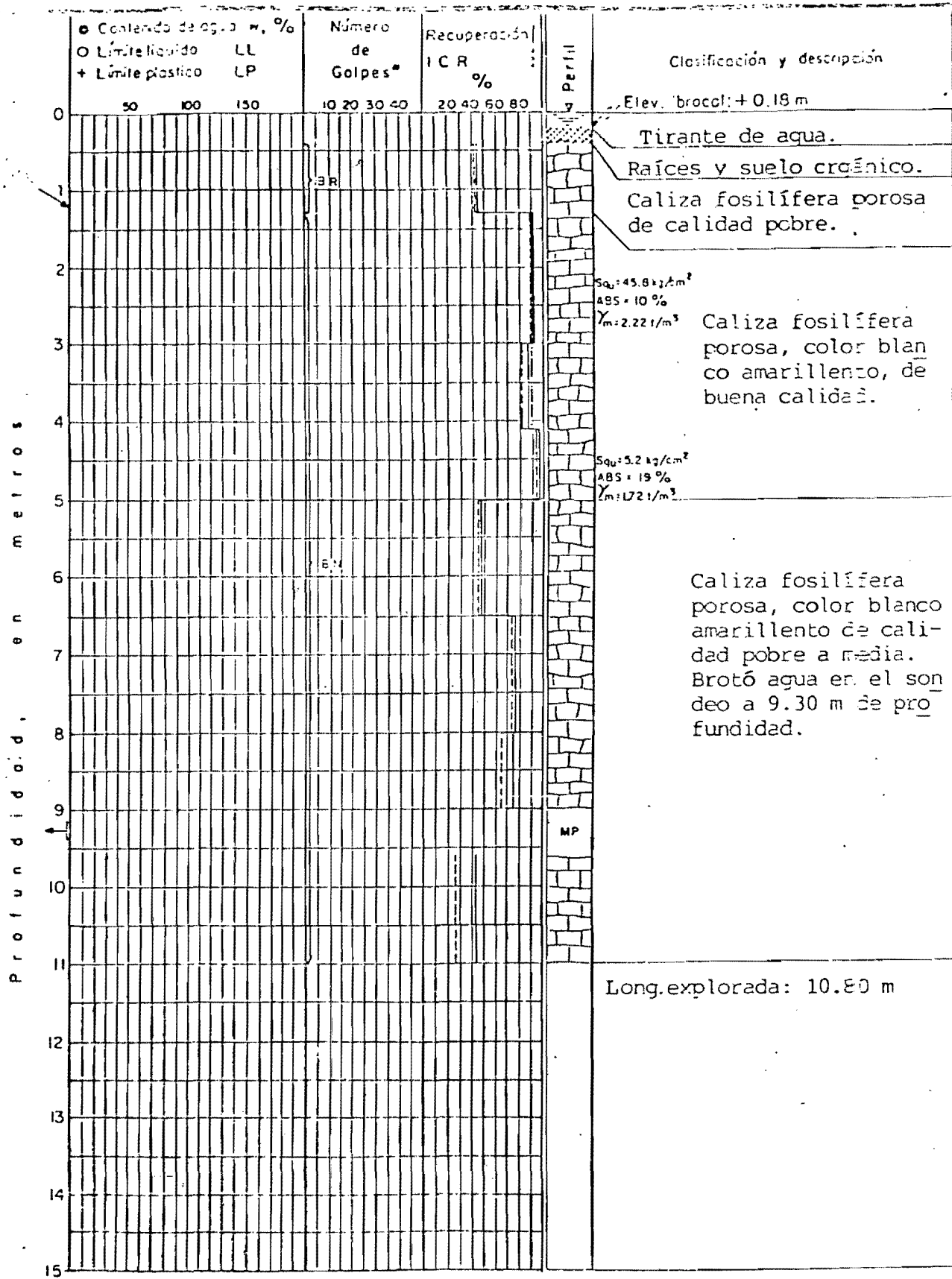
- |         |         |   |                      |                          |
|---------|---------|---|----------------------|--------------------------|
| Arctia  | Grava G | Penetración estándar                                | BN Barril N          | ICR Índice de calidad de |
| Limo F  | Caliza  | 45/15 Golpes/cm                                     | A Avance de muestreo | toro (ROD)               |
| Arena S |         | BR Barril rompedor                                  | MP Muestra perdida   | ← Brotó agua             |
|         |         | Squ Resistencia al corte en compresión no confinado | ↙ Prof del ademe     | → Pérdida total de agua  |
|         |         |   | ABS Absorción        |                          |

Fig. 5 - Estratigrafía y propiedades del subsuelo en el sondeo S-2



- |   |   |  |   |  |  |
|---|---|--|---|--|--|
| <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 10px; border: 1px solid black; background: repeating-linear-gradient(45deg, transparent, transparent 2px, black 2px, black 4px);"></div> <span style="font-size: 8px;">Arcilla</span> </div> | <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 10px; border: 1px solid black; background: repeating-linear-gradient(-45deg, transparent, transparent 2px, black 2px, black 4px);"></div> <span style="font-size: 8px;">Limo</span> </div> | <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 10px; border: 1px solid black; background: repeating-linear-gradient(-135deg, transparent, transparent 2px, black 2px, black 4px);"></div> <span style="font-size: 8px;">Grava: G</span> </div> | <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 10px; border: 1px solid black; background-color: #cccccc;"></div> <span style="font-size: 8px;">Caliza</span> </div> | <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 10px; border: 1px solid black; background-color: #ffffff;"></div> <span style="font-size: 8px;">Arena S</span> </div> | <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 10px; border: 1px solid black; background-color: #cccccc;"></div> <span style="font-size: 8px;">F</span> </div> |
|---|---|--|---|--|--|
- |  |  |  |  |   |   |   |  |
|--|--|--|--|---|---|---|--|
| <span style="font-size: 8px;">Penetración estándar<br/>45/5 Golpes/cm</span> | <span style="font-size: 8px;">BR Barril roperador</span> | <span style="font-size: 8px;">Squ Resistencia al corte en compresión no confinada</span> | <span style="font-size: 8px;">BN Barril N</span> | <span style="font-size: 8px;">A Avance en muestreo</span> | <span style="font-size: 8px;">MP Muestra perdida</span> | <span style="font-size: 8px;">Prof del ademe</span> | <span style="font-size: 8px;">ABS Absorción</span> |
|--|--|--|--|---|---|---|--|
- |   |   |  |
|---|---|--|
| <span style="font-size: 8px;">ICR Índice de calidad de la roca (ROD)</span> | <span style="font-size: 8px;">← Brotó agua</span> | <span style="font-size: 8px;">→ Pérdida total de agua</span> |
|---|---|--|

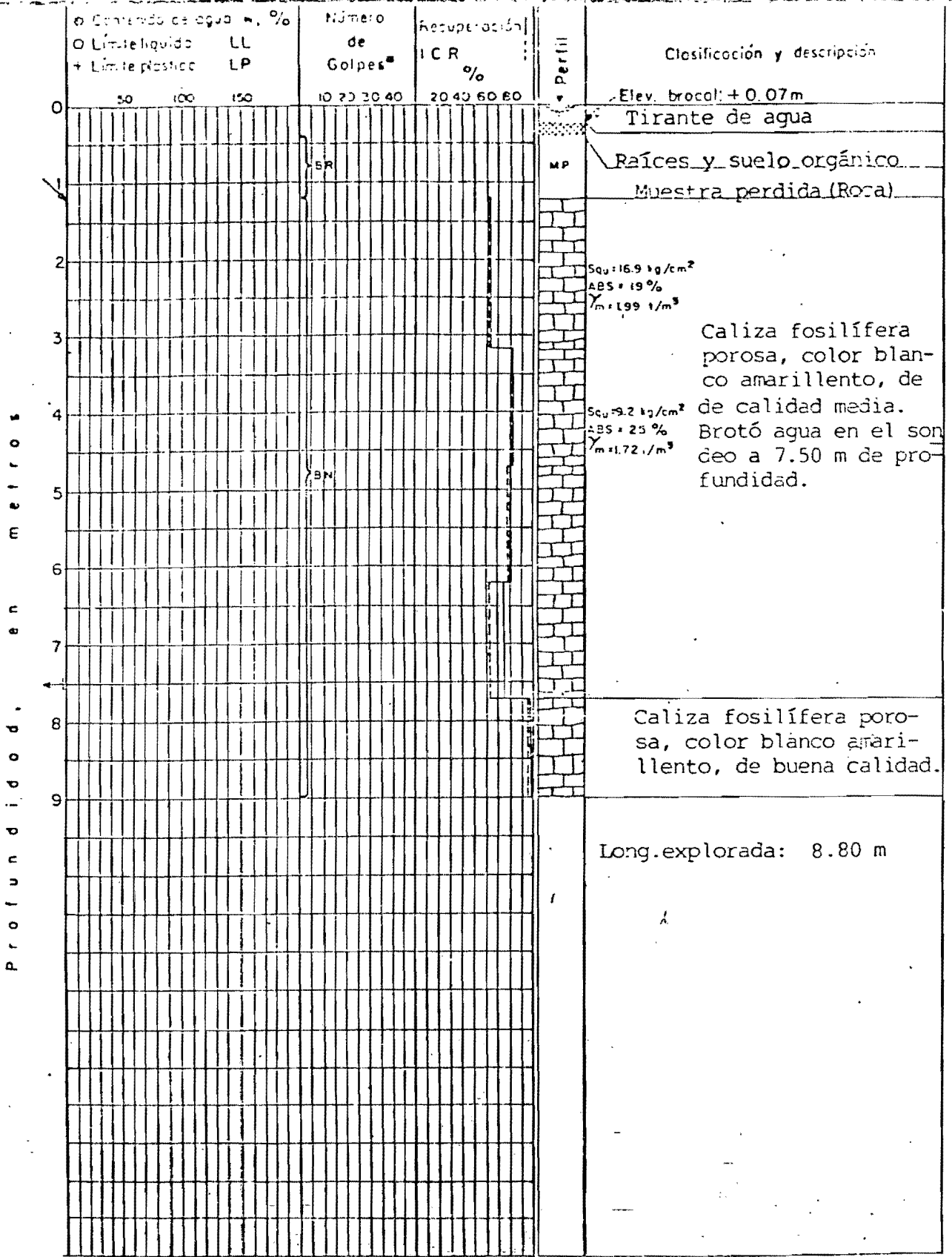
Fig. 6 Estratigrafía y propiedades del subsuelo en el sondeo S-3



Arcilla	Grava: G	Penetración estándar	BN Barril N	ICR Índice de cantidad de la roca (RQD)
Limo } F	Caliza	45/15 Golpes/cm	A Avance en muestreo	Brotó agua
Arena S	Turba	BR Barril rompedor	MP Muestra perdida	Pérdida total de agua
		$S_{qu}$ Resistencia al corte en compresión no confinada	Prot del ademe	
			ABS Absorción	

Fig. 7 Estratigrafía y propiedades del subsuelo en el sondeo S-4

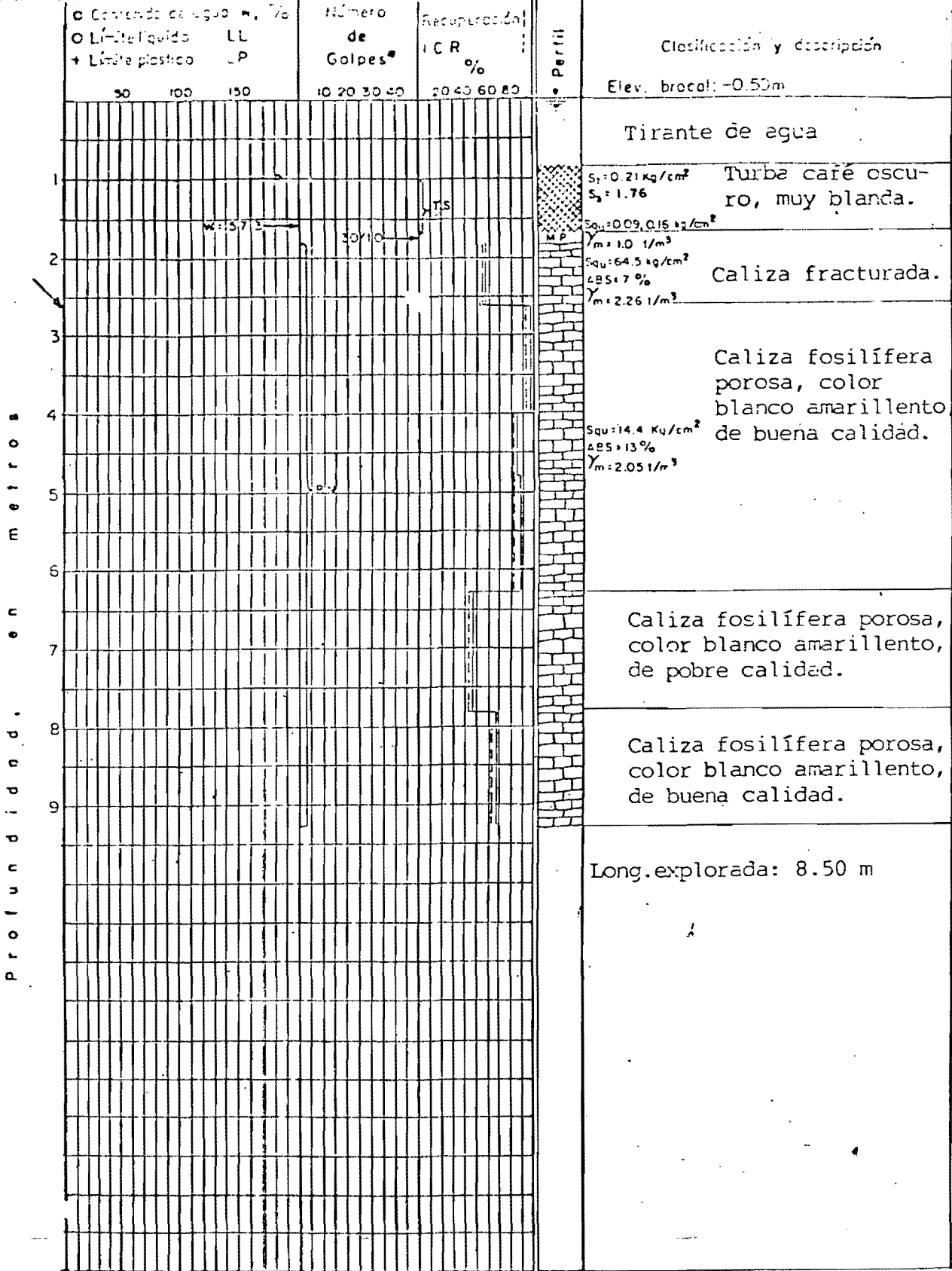




Profundidad en metros

- |          |          |       |   |     |                   |     |                                 |
|----------|----------|-------|---|-----|-------------------|-----|---------------------------------|
| Arcilla  | Grava: G | +     | Penetración estándar                            | BN  | Barril N          | ICR | Índice de calidad de roca (ROD) |
| Limo } F | Caliza   | 45/15 | Golpes/cm                                       | A   | Avance en muestra | ←   | Brotó agua                      |
| Arena S  | Turba    | BR    | Barril rompedor                                 | MP  | Muestra perdida   | →   | Pérdida total de agua           |
|          |          | Squ   | Resistencia al corte en compresión no confinada | ↙   | Prof del ademe    |     |                                 |
|          |          |       |   | ABS | Absorción         |     |                                 |

Fig. 8 - Estratigrafía y propiedades del subsuelo en el sondeo S-5



- Arcilla } F
- Limo } F
- Arena S
- Grava: G
- Calizo
- Turba
- Penetración estándar
- 45/15 Golpes/cm
- BR Barril rompedor
- S<sub>qu</sub> Resistencia al corte en compresión no confinada.
- S<sub>t</sub> En torcómetro.
- TS Tubo Shelby
- BN Barril N
- A Avance en muestreo
- MP Muestra perdida
- Prot del ademe
- ABS Absorción
- ICR Índice de calidad de la roca (ROD)
- Brotó agua
- Pérdida total de agua
- S<sub>s</sub> Peso específico relativo

Fig. 9 Estratigrafía y propiedades del subsuelo en el sondeo S-6

**SONDEO REPRESENTATIVO  
EN ZONA 1**

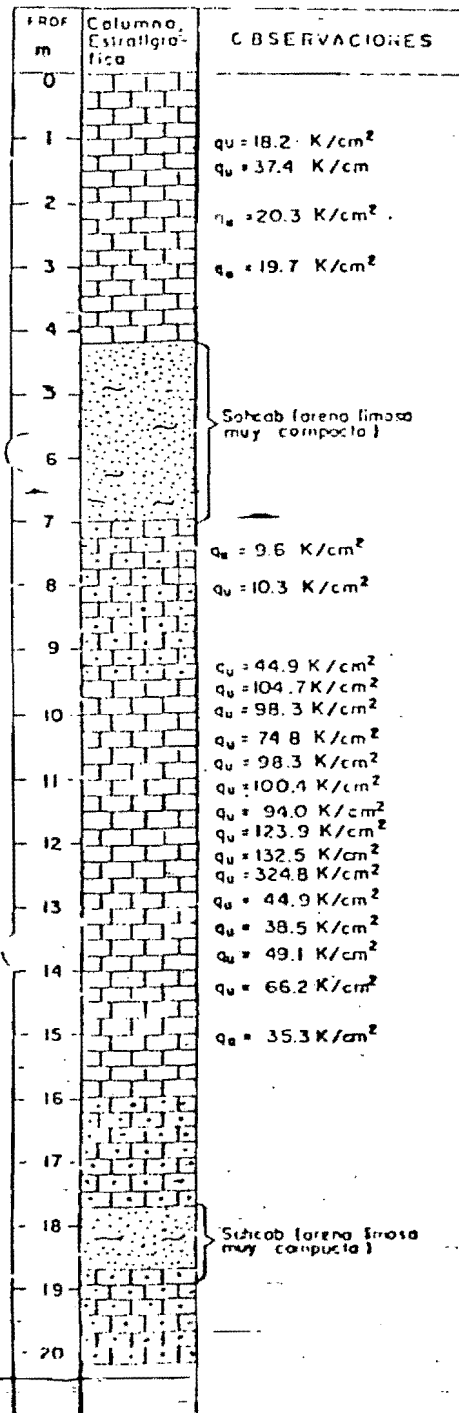


FIG. 10

SONDEO EN ZONA I

Los ensayos en compresión no confinada en laboratorio permiten determinar la resistencia al corte ( $S_{qu}$ ) del material intacto y de las juntas rocosas, así como para estudiar la resistencia de planos específicos de interés; en general el valor obtenido es menor que el obtenido en ensayos de campo.

El porcentaje de absorción permite definir el grado de alteración en las rocas, ya que en la medida en que hay un mayor intemperismo, el volumen de vacíos crece, teniendo la muestra un mayor porcentaje de absorción.

El peso volumétrico es útil para fines de dragado y transporte.

El índice de calidad de la roca (ICR) es una relación de recuperación de corazones modificada y es una estimación de la calidad de la roca in-situ. Esta relación se determina considerando solamente los fragmentos de corazón que tengan una longitud no menor de 10 cm y sean duros y sanos, sin considerar las roturas causadas por la perforación. El porcentaje de la relación entre la longitud total de un corazón así formado y la longitud del muestreador en una operación, es el ICR. La Tabla 1 proporciona la descripción de la calidad de la roca en relación con su ICR.

T A B L A 1

ICR (%)	CALIDAD DE LA ROCA
90 - 100	Excelente
75 - 90	Buena
50 - 75	Regular
25 - 50	Mala
0 - 25	Muy mala

Según: Deere, D. U. en Technical Description of Rock Cores for Engineering Purposes (1963).

A una menor calidad de roca, le corresponde un mayor grado de estratificación, siendo así mas facil su explotación.

#### GEOLOGIA DE LAS CALIZAS

Las calizas son rocas sedimentarias y como tales han sido formadas a partir de sedimentos sueltos endurecidos con el paso del tiempo. Su historia comienza con los procesos de intemperismo químico y mecánico cuyo producto constituyen la materia prima de las rocas sedimentarias. Estos sedimentos son transportados y convertidos en roca debido a una cementación de los granos individuales o por el peso de depósitos suprayacentes. Debe aclararse que no necesariamente estas rocas son formadas por sedimentos, sino que pueden ser producto de minerales que queden de la evaporación de grandes masas de agua, o pueden estar

compuestas en gran parte por las conchas y partes duras de los animales, en particular, invertebrados marinos.

La importancia del estudio de las rocas sedimentarias en el campo de la Ingeniería Civil, y en particular a las áreas de Mecánica de Suelos y de Construcción, se acrecienta al reflexionar sobre el dato de que aproximadamente el 75% de las rocas expuestas en la superficie de la tierra son sedimentarias o metamórficas derivadas de estas. De este 75% las calizas representan un 22%, porcentaje que se acrecienta en algunas zonas, como es la zona en estudio.

La caliza es una roca formada principalmente del mineral calcita,  $\text{CaCO}_3$ , depositado bien por procesos orgánicos o por procesos inorgánicos. La mayoría de las calizas tiene una textura clástica (presentando una configuración fragmentada debido a los minerales y fragmentos rocosos que la conforman), pero las texturas no-clásticas, particularmente la cristalina, son comunes.

Las calizas formadas bioquímicamente son creadas por la acción de plantas y animales (ejemplo corales), que extraen el carbonato de calcio del agua en que viven. El carbonato de calcio puede ser incorporado al esqueleto del organismo o precipitarse directamente. En cualquier caso, cuando el organismo muere, deja una cantidad de carbonato de calcio y, con el transcurso de un largo período de tiempo, se pueden formar

gruesos depósitos de este material. La zona en estudio es un claro ejemplo de estas acumulaciones resultado de la muerte de algas, moluscos, corales y animales unicelulares, tanto en sus arrecifes como en tierra firme.

### IMPLICACIONES GEOTECNICAS

El hecho de trabajar con calizas, tanto como material de cimentación, como de dragado, indica una problemática muy particular.

Las calizas de este tipo generalmente son bastante resistentes para diversas estructuras, pero con frecuencia se presentan, en niveles inferiores, cavernas, discontinuidades o conductos de disolución. Sin embargo, en el caso particular que se trata, las rocas están poco intemperizadas (tienen porcentajes de absorción bajos) y en ninguno de los sondeos realizados se encontraron cavidades u otras discontinuidades.

Otro problema es el de dragado. Al tener una roca no muy intemperizada surge el problema de atacar este material. Para establecer el método de ataque, es importante conocer la calidad de la roca, su porosidad y si contiene fósiles. Con estos parámetros puede definirse el equipo más adecuado para los trabajos y si, en algunos casos, es necesaria la utilización de explosivos. Es conveniente recordar que algunas calizas están

compuestas principalmente de una mezcla de esqueletos fósiles, como corales, crinoides, algas y conchas. Frecuentemente los fragmentos fósiles están depositados formando agregados sueltos, son suaves y están mal cementados; en consecuencia, aun cuando estos depósitos no sean muy meteorizados son muy permeables y se trituran fácilmente.

Estas rocas propiamente trituradas pudieran emplearse como material para rellenos. También puede utilizarse el sahcab, el cual no hay que triturarlo y que existe en toda la región. Los fragmentos de roca pueden ser utilizados, convenientemente, como protección a los taludes de los rellenos.

Las condiciones particulares de estas calizas indican, de alguna manera, el camino a seguir en el análisis del dragado, relleno y cimentaciones a ejecutarse, lo que se tratará en los siguientes tres capítulos.



#### IV DRAGADO

##### PROBLEMATICA

El concepto de dragado es aplicable a la excavación de material bajo el espejo de agua. Así pues, el dragado no es más que una forma particular de excavación.

El dato de que la pleamar es de 0.24 m S.N.M.M., complementado con la altura de terreno encontrada, que es hasta de 1.72 m S.N.M.M., indica que una gran parte del terreno a dragar queda por arriba del espejo de agua, por lo que, realmente, se tendrán dos actividades: la extracción de material por encima del espejo de agua, conocida simplemente como excavación, y el dragado.

La roca caliza a excavar y dragar presenta características de buena calidad y poco intemperismo, lo que indica la posible utilización de metodología constructiva especializada. Sin embargo, la existencia de fósiles y la porosidad de las rocas, las hace que sean muy permeables y fáciles de triturar, por lo que podrían estudiarse varios métodos de ataque.

El procedimiento constructivo a seguir debe contemplar la excavación de todo el material posible hasta la profundidad deseada en proyecto ( -3.00 S.N.M.M. ), evitando la entrada de agua proveniente de la laguna, y bombeando hacia ella toda el

agua que pueda entrar por otras circunstancias. Por lo tanto, es recomendable empezar la excavación, llegando al nivel ya mencionado, desde la parte occidental del proyecto.

Después de realizada la excavación, se dragará el material restante. Este dragado puede efectuarse con el mismo equipo y maquinaria de excavación, siempre y cuando exista un tirante de agua pequeño que permita el buen funcionamiento del equipo, el cual debe realizar su función de dragado hasta la profundidad de proyecto antes de moverse de lugar. De esta manera, solo quedará por dragar el material cercano a las orillas de la laguna, el que podrá ser extraído desde la fracción rellenada que exige el proyecto.

Una previsión que debe tomarse antes de proceder al dragado, es llenar con agua la parte de la marina ya excavada, para evitar una entrada violenta del agua de la laguna, lo que podría resultar extremadamente peligroso para las estructuras ya construídas (rellenos, atracaderos, edificios...) en la zona del proyecto y cercanas a él.

La roca superficial al ser de calidad pobre, puede ser desgarrada. Sin embargo la encontrada a mayor profundidad debe atacarse con técnicas más especializadas. En caso de requerirse explosivos, sólo será en la cantidad necesaria para sacudir, fracturar y aflojar la roca, ya que, debido a la gran potencia de los equipos de excavación, no se requiere una gran fragmentación.

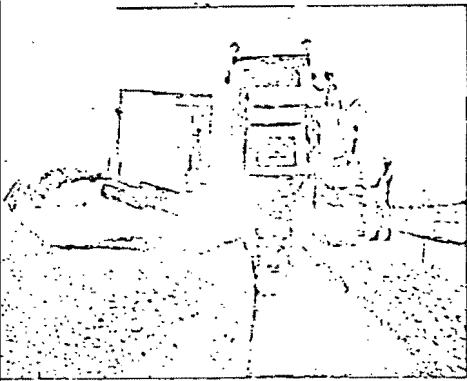
El total estimado de material por extraer es de 700,000 m<sup>3</sup>b, que estará compuesto por un 60% de material de excavación (420,000 m<sup>3</sup>b) y un 40% de material de dragado (280,000 m<sup>3</sup>b). La composición de los diferentes materiales extraídos en la zona es de aproximadamente 2% (14,000 m<sup>3</sup>b) de suelo orgánico con raíces, 3% (21,000 m<sup>3</sup>b) de turba, 37% (259,000 m<sup>3</sup>b) de caliza fracturada pobre y 58% (406,000 m<sup>3</sup>b) de caliza de calidad media a buena.

#### EQUIPO

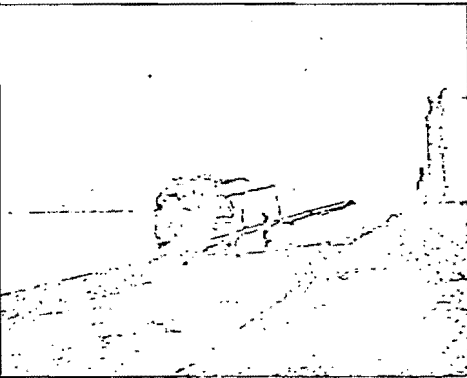
Los trabajos de excavación y dragado se pueden dividir en dos actividades diferentes: la extracción del material y su transporte.

En la actividad de extracción deben considerarse las características particulares de los materiales pétreos que se encuentran en la zona (roca de calidad buena, roca fracturada de calidad pobre y turbas y suelos orgánicos), para así seleccionar los equipos adecuados para su realización.

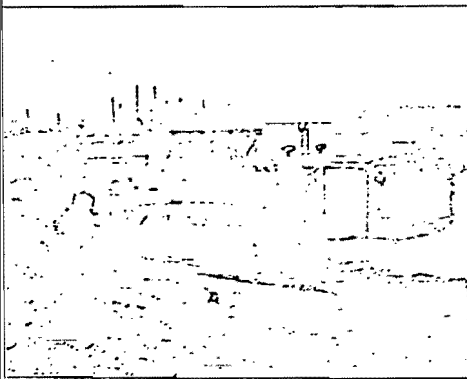
Para la extracción de roca de calidad buena, debe pensarse en el uso de explosivos. También puede estudiarse el uso de maquinaria convencional, como el tractor con escarificador; o de maquinaria especializada, como la excavadora de zanjas Roc Saw (Fig. 11) y las retroexcavadoras con martillos hidráulicos.



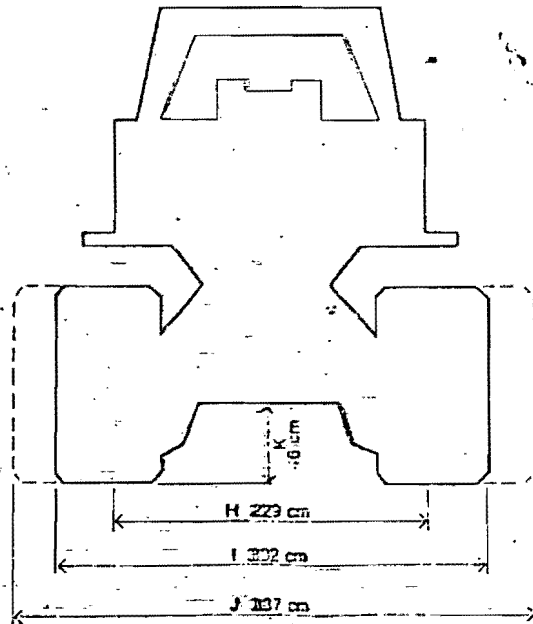
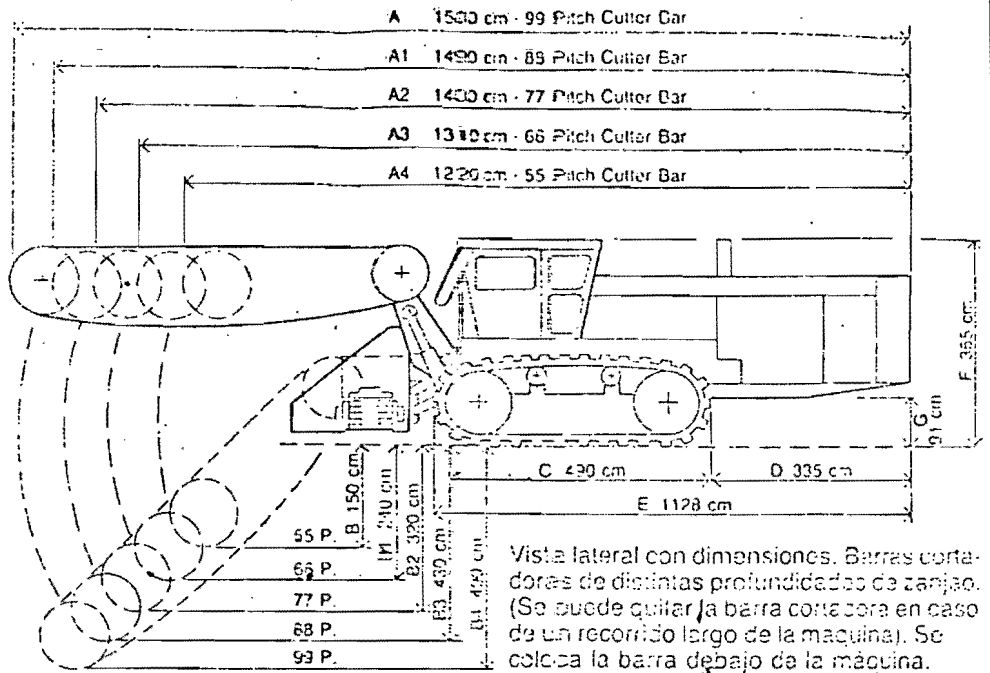
La empresa HOCHTIEF AG, Essen, Alemania Federal, ha excavado 230 000 metros cúbicos de roca coralina con su zanjadora ROC SAW en la obra del nuevo aeropuerto de Jeddah, Arabia Saudita, en un periodo de 14 meses.



A temperaturas tan bajas como -60°, Borinco, contratista de Houston, cortó una zanja en el gasoducto - paralela con el gasoducto de Ataska.



Zanja de 20 kms. de largo para la tubería de agua de enfriamiento que abastece la refinería de Petromin en Riyadh, Arabia Saudita.



El peso operacional de la máquina, según el largo de la barra cortadora y en ancho de la cadena cortadora, varía entre 56 y 65 toneladas.

Todos los datos son sujetos a alteración según las últimas modificaciones de la industria.

FIG. 11 EXCAVADORA DE ZANJAS ROC - SAW

En el caso de la roca fracturada de calidad pobre, puede pensarse en el uso de maquinaria mayor, como las retroexcavadoras; o de maquinaria menor, como las compresoras y perforadoras.

Las turbas y suelos orgánicos se encuentran debajo del nivel freático, por lo que es recomendable su extracción con retroexcavadoras.

Para el cargado del material, en el caso de que el equipo de extracción no pueda realizar esta labor, es conveniente el uso de retroexcavadoras. El transporte se hará en camiones, los cuales llevarán el material a una planta de trituración dentro del proyecto o a un sitio de bote distante 10 km del proyecto.

#### COSTOS ESTIMADOS

##### A) Excavación En Turba y Suelo Orgánico.

Equipo	C. Unitario	Producción	Costo/m <sup>3</sup> b
Retroexc. CAT 215 3 yd <sup>3</sup>	\$10,000/hr	180 m <sup>3</sup> b/hr	\$55.56

COSTO TOTAL: \$55.56/m<sup>3</sup>b

##### B) Excavación En Roca Fracturada De Calidad Pobre.

###### 1) Con maquinaria mayor.

Equipo	C. Unitario	Producción	Costo/m <sup>3</sup> b
Retroexc. CAT 215 3 yd <sup>3</sup>	\$10,000/hr	80 m <sup>3</sup> b/hr	\$125.00

COSTO TOTAL: \$125.00/m<sup>3</sup>b

## 2) Con maquinaria menor.

Equipo	C. Unitario	Producción	Costo/m <sup>3</sup> b
Compresor Gard Denv SP325	\$2,300/hr	60 m <sup>3</sup> b/hr	\$38.33
Perforadora Ing Ram JR300	\$980/hr	16 m <sup>3</sup> b/hr	\$61.25

Materiales	C. Unitario	Producción	Costo/m <sup>3</sup> b
Acero de Barrenación 7/8"	\$22,400/jgo	700 m <sup>3</sup> b/jgo	\$32.00

COSTO TOTAL: \$131.58/m<sup>3</sup>b

## C) Excavación En Roca De Buena Calidad.

## 1) Con voladuras.

Equipo	C. Unitario	Producción	Costo/m <sup>3</sup> b
Compresor Gard Denv SP325	\$2,300/hr	30 m <sup>3</sup> b/hr	\$76.67
Perforadora Ing Ram JR300	\$980/hr	8 m <sup>3</sup> b/hr	\$122.50

Materiales	C. Unitario	Producción	Costo/m <sup>3</sup> b
Dinamita Tóvex 700	\$10,800/cja	100 m <sup>3</sup> b/cja	\$108.00
Super Mexanón	\$40/kg	5 m <sup>3</sup> b/kg	\$8.00
Acero de Barrenación 7/8"	\$22,400/jgo	520 m <sup>3</sup> b/jgo	\$43.08
Canuela	\$18/m	0.71 m <sup>3</sup> b/m	\$25.35

Mano de Obra	C. Unitario	Producción	Costo/m <sup>3</sup> b
Cuadrilla Voladuras	\$9,200/tno	400 m <sup>3</sup> b/tno	\$23.00

COSTO TOTAL: \$406.60/m<sup>3</sup>b

## 2) Con equipo convencional.

Equipo	C. Unitario	Producción	Costo/m <sup>3</sup> b
Tractor CAT D8K c/Esc.	\$23,800/hr	40 m <sup>3</sup> b/hr	\$595.00

COSTO TOTAL: \$595.00/m<sup>3</sup>b

## 3) Con equipo especial.

Equipo	C. Unitario	Producción	Costo/m <sup>3</sup> b
Exc. de Zanjas Roc Saw	\$60,000/hr	12 m <sup>3</sup> b/hr	\$5,000.00
Retroexc. c/Mart. Hidr.	\$10,700/hr	25 m <sup>3</sup> b/hr	\$428.00

COSTO TOTAL: \$5,428.00/m<sup>3</sup> b

## D) Cargado.

Equipo	C. Unitario	Producción	Costo/m <sup>3</sup> b
Retroexc. CAT 215 3 yd <sup>3</sup>	\$10,000/hr	60 m <sup>3</sup> b/h	\$166.67

COSTO TOTAL: \$166.67/m<sup>3</sup> b

## E) Acarreo.

1) Hacia planta trituradora material (Long. acarreo 1 km).

Equipo	C. Unitario	Producción	Costo/m <sup>3</sup> s
Camiones 1er. km	\$20.00/km	1 m <sup>3</sup> s/km	\$20.00

COSTO TOTAL: \$20.00/m<sup>3</sup> s

2) Hacia sitio de bote (Long. acarreo 10 km).

Equipo	C. Unitario	Producción	Costo/m <sup>3</sup> s
Camiones 1er. km	\$20.00/km	1 m <sup>3</sup> s/km	\$20.00
Camiones kms. Siguietes	\$15.00/km	0.11 m <sup>3</sup> s/km	\$136.36

COSTO TOTAL: \$156.36/m<sup>3</sup> s

## GRUPOS DE TRABAJO ESCOGIDOS Y COSTOS.

## I) Excavaciones:

## A) Excavación en Turba y Suelo Orgánico.

Cantidad total de excavación: 35,000 m<sup>3</sup>b

Costo directo Gpo. A: \$55.56/m<sup>3</sup>b

Costo total: \$1,944,600.00

## B) Excavación en Roca Fracturada.

Cantidad total de excavación: 259,000 m<sup>3</sup>b

Excavación en seco: 155,400 m<sup>3</sup>b

Costo directo Gpo. B-1: \$125.00/m<sup>3</sup>b

Dragado: 103,600 m b

Costo directo Gpo. C-1: \$406.60/m<sup>3</sup>b

Costo total: \$61,548,760.00

## C) Excavación en Roca de Buena Calidad.

Cantidad total de excavación: 406,000 m<sup>3</sup>b

Costo directo Gpo. C-1: \$406.60

Costo total: \$165,079,600.00

## D) Resumen.

Total m<sup>3</sup>b a explotar: 700,000

Costo de la explotación: \$228,572,960.00

## II) Cargado.

## A) Carga de Roca Fracturada Dragada y de Roca de Buena Calidad.

Total a cargar: 509,600 m<sup>3</sup>b

Costo directo Gpo. D: \$166.67/m<sup>3</sup>b

Costo total: \$84,935,032.00



## III) Transporte.

## A) Acarreo de Todo el Material.

Total a transportar: 700,000 m<sup>3</sup>b

Factor de abundamiento estimado: 1.60

Total a transportar: 1,120,000 m<sup>3</sup>s

Costo directo Gpo. E-1: \$20/m<sup>3</sup>s

Costo total: \$22,400,000.00

Así, el proyecto tendrá un costo directo total aproximado de \$335,907,992.00 por concepto de extracción y dragado de material, con un costo unitario de \$479.87/m<sup>3</sup>b.

V  
RELLENOS

PROBLEMATICA

Como material de apoyo a rellenos, las calizas no plantean problemas serios. Generalmente lo único que debe tomarse en cuenta es que exista una buena liga entre la roca y el material de relleno, particularmente en las laderas.

Antes de tender el relleno, debe asegurarse una adecuada preparación del terreno de cimentación, efectuando los trabajos de desmonte, despalle y retiro de los suelos orgánicos e inadecuados.

El material de relleno por utilizar debe contar con ciertas características que permita una buena estructuración a fin de que mantenga un comportamiento adecuado durante toda la vida útil de la obra. Este es el objetivo principal del proceso mecánico llamado compactación.

Con la compactación se busca mejorar, en el caso que se estudia, las características de resistencia, compresibilidad y esfuerzo-deformación, aunque en ocasiones también se busca obtener características idóneas de permeabilidad y flexibilidad.

Así, la compactación resulta ser un proceso de múltiples objetivos, que en ocasiones resultan contradictorios.

El problema de la compactación de suelos está ligado al de control de calidad de los trabajos de campo, ya que siempre es necesario la verificación de los fines propuestos. Para comprobar las características señaladas, se requiere de pruebas especializadas y costosas las que, además, generalmente requieren de un tiempo de ejecución largo, por lo tanto, se ha acostumbrado el usar el concepto de peso volumétrico seco como un medio de comprobar que se lograron las propiedades ya señaladas, aún cuando la correlación entre estas y el peso volumétrico seco no sea tan segura y simple como para confiar ciegamente en ella.

Aunque la compactación es sólo uno de los varios medios para mejorar la condición de un suelo, al ser uno de los más eficientes y económicos, es el que se propone usar para estructurar los rellenos en nuestro proyecto. Será indispensable contar con un control de calidad adecuado de los materiales que se usarán como rellenos, tanto antes de compactarlo, para asegurar que siempre será un material de buena calidad, como después de su compactación, para asegurarnos de una estructuración deseada.

El material por utilizar en los rellenos será el sahcab, por ser un material que se encuentra en toda la zona. En caso

de que los bancos de sahcab se encuentren muy lejos del sitio de la obra, o no sean de calidad suficiente para cumplir con los requisitos que dicten las especificaciones, debe pensarse en la posibilidad de instalar una trituradora para utilizar las rocas calizas -ya explotadas y trituradas- que se encuentran en nuestro proyecto, como material de relleno.

El material que se conoce como sahcab se ha encontrado en la región con las siguientes características (Ref. 8):

1. Granulometría: 0 a 32% de Grava.  
4 a 93% de Arena.  
7 a 96% de Finos.
2. Plasticidades: 21 a 29% de Límite Líquido (LL).  
14 a 22% de Límite Plástico (LP).  
7 a 11% de Índice Plástico (IP).  
No plásticos.
3. Clasificación SUCS: SM, SW-SM, CL y CL-ML.

Así, el sahcab puede ser un buen material de relleno si se encuentra con las características de los grupos SM y SW-SM, siendo peligroso su uso si se encuentra con las características de los grupos CL y CL-ML.

El grado de compactación es la relación, en por ciento, entre el peso volumétrico seco en obra y el peso volumétrico seco máximo resultado de una prueba de compactación. Las normas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) establecen las

pruebas de compactación que habrán de utilizarse para verificar la obtención del grado de compactación requerido. Estas pruebas se conocen como "Variante Proctor SCT", que es una prueba dinámica, y como "Variante Porter SCT", que es una prueba estática. La prueba Proctor SCT es utilizada comúnmente para suelos con poco contenido de gravas, mientras que la Porter SCT se utiliza más ampliamente con suelos granulares.

Es importante la protección de los taludes de los rellenos en contra del embate de las olas, ya que estas pueden producir la socavación de los rellenos que, aunque no soportarán las cimentaciones, sí estarán apoyados en ellos los pisos, caminos de acceso, etc.

Asimismo, como ya se había mencionado, es importante la buena liga entre el material de relleno y la roca que lo soportará. En caso de que exista alguna duda sobre una buena liga, se recomienda el arado de la roca. En laderas se usarán escalones de liga para evitar fallas por deslizamiento de los rellenos sobre el terreno natural. Si estas condiciones se cumplen y además se elimina toda la vegetación y materia orgánica existente, así como las turbas y suelos orgánicos y se protegen los taludes con los fragmentos grandes de roca que resulten de la excavación y dragado, los rellenos -sean a base de sahcab o roca caliza triturada- no presentarán problemas en su comportamiento, siempre y cuando se asegure una adecuada compactación.

El proyecto ocupa un área aproximada de 200,000 m<sup>2</sup> destinadas a instalaciones terrestres, la que debe ser elevada una altura promedio estimada de 1.75 m, dando como resultado la necesidad de 350,000 m<sup>3</sup>c de material de relleno.

#### EQUIPO

La conformación de los rellenos puede dividirse en dos actividades: a) traslado del material de relleno a la zona de trabajo y b) conformación y compactación

En la primera actividad la elección del equipo depende del material de relleno. Si el material es sahcab, se usará tractor con escarificador para la explotación del banco, que se considera a 5 km del proyecto, y cargador para llenar los camiones que transportarán el material. De ser utilizado el material producto de las excavaciones, se debe tener en el proyecto una clasificadora y trituradora de material, cargador y camiones.

En la segunda actividad han de utilizarse motoconformadoras, pipas de agua y compactadores.

## COSTOS ESTIMADOS.

## A) Material de Relleno.

1) Utilizando Sahcab de Banco a 5 km del Proyecto.

Equipo	C. Unitario	Producción	Costo/m <sup>3</sup> s
Tractor CAT D8K c/Escar.	\$15,200/hr	240 m <sup>3</sup> s/hr	\$63.33
Cargador CAT 955L	\$14,700/hr	80 m <sup>3</sup> s/hr	\$183.75
Camión 1er. km	\$20.00/km	1 m <sup>3</sup> s/km	\$20.00
Camión kms. Siguintes	\$15.00/km	0.25 m <sup>3</sup> s/km	\$60.00

COSTO TOTAL: \$327.08/m<sup>3</sup>s

2) Utilizando Material de Excavación (Long. Acarreo 1 km)

Equipo	C. Unitario	Producción	Costo/m <sup>3</sup> s
Tritur. TELSMITH 3 Pisos	\$65,000/hr	100 m <sup>3</sup> s/hr	\$650.00
Cargador CAT 955L	\$14,700/hr	100 m <sup>3</sup> s/hr	\$147.00
Camión 1er. km	\$20.00/km	1 m <sup>3</sup> s/km	\$20.00

COSTO TOTAL: \$817.00/m<sup>3</sup>s

## B) Conformación y Compactación del Relleno.

Equipo	C. Unitario	Producción	Costo/m <sup>3</sup> c
Motoconformadora CAT 120B	\$12,700/hr	100 m <sup>3</sup> c/hr	\$127.00
Compactador CAT 825C	\$18,200/hr	110 m <sup>3</sup> c/hr	\$165.45
Camión Pipa 6,000 lt	\$2,000/hr	30 m <sup>3</sup> c/hr	\$66.67

Materiales	C. Unitario	Producción	Costo/m <sup>3</sup> c
Agua	\$280/m <sup>3</sup> a	8.33 m <sup>3</sup> c/m <sup>3</sup> a	\$33.60

Mano de Obra	C. Unitario	Producción	Costo/m <sup>3</sup> c
Cuadrilla Compactación	\$12,000/tno	1,300 m <sup>3</sup> c/tno	\$9.23

COSTO TOTAL: \$401.95/m<sup>3</sup>c

## GRUPOS DE TRABAJO ESCOGIDOS Y COSTOS.

I) Material De Relleno.

A) Extracción del Material.

Total material necesario para los rellenos: 350,000 m<sup>3</sup>c

Factor de compactación estimado: 0.87

Total material a extraer: 304,500 m<sup>3</sup>b

Total relleno a transportar: 487,200 m<sup>3</sup>s

Costo directo Gpo. A-2: \$817/m<sup>3</sup>s

Costo total: \$398,042,400

NOTA: Se escoge el grupo de trabajo A-2, debido a que la diferencia en costo respecto al grupo A-1, es de \$489.92/m<sup>3</sup>s. Esta diferencia se ve compensada por el hecho de no transportar el material de excavación a 10 km del proyecto, reduciéndose así la diferencia en costo a \$353.56/m<sup>3</sup>s. Este costo adicional se cubre con la venta del material de excavación que no se utilizará en el relleno. El costo del material triturado es de \$817.00/m<sup>3</sup>s, mientras que posee un valor de mercado, comprado en planta, del orden de los \$2,000/m<sup>3</sup>s. Restando el costo de comercialización del material y de trituración se obtendría una ganancia neta de \$800.00/m<sup>3</sup>s, aproximadamente. Debido al cúmulo de construcciones en la zona, se puede preveer la venta del material triturado sobrante. Por lo tanto, a partir de la venta de 215,400 m<sup>3</sup>s, la elección del Gpo. A-2 es más



conveniente, además de que se reducirían los costos.

## II) Conformación De Los Rellenos.

### A) Conformación y Compactación.

Cantidad total de rellenos: 350,000 m<sup>3</sup>c

Costo directo Gpo. B: \$401.95/m<sup>3</sup>c

Costo total: \$140,682,500.00

El proyecto tendrá un costo directo total, por concepto de rellenos, de \$538,734,900.00. Si se considera la ganancia de \$172,320,000.00 por concepto de la venta de 215,400 m<sup>3</sup>s de material triturado, el costo directo total será de \$366,414,900.00, resultando un costo unitario de \$1,046.90/m<sup>3</sup>c.

## VI CIMENTACIONES

### PROBLEMATICA

Los mantos de roca pocas veces presentan inconvenientes serios en cimentaciones, cuyo diseño se basa en la presión de contacto admisible de la roca (presión máxima que puede transmitir la estructura al terreno), y en los asentamientos máximos permisibles.

Si la masa de roca no contiene defectos de importancia, la presión de contacto admisible en su superficie puede tomarse conservadoramente como la resistencia a la compresión simple de la roca intacta. Sin embargo, las juntas que pueden existir en las formaciones rocosas inciden en la compresibilidad de la formación, por lo que es conveniente la revisión de los asentamientos que pueden ocurrir. Esto es necesario en el sitio de proyecto debido a la posible existencia de conductos de disolución, cavernas o discontinuidades, las que, pese a no haber sido detectadas en los sondeos, son características comunes de este tipo de formación en toda la región.

Aún cuando puedan existir características que produzcan asentamientos mayores que los permisibles, el diseño de la

cimentación puede hacerse exclusivamente usando el criterio de resistencia, utilizando los valores contenidos en la Tabla 2. Si las presiones de contacto admisible ( $q_a$ ) utilizadas en el diseño de la cimentación, son menores o iguales que las indicadas, se asegura un asentamiento máximo de 1.5 cm. La roca en donde se apoye la zapata debe poseer un ICR mayor o igual al correspondiente a la presión de contacto admisible utilizada.

El ICR a usar será el promedio dentro de un espesor, bajo el nivel de desplante, igual al ancho de la misma. Si la parte superior de la roca, en una profundidad del orden de la cuarta parte del ancho de la cimentación, es de inferior calidad, debe usarse el valor correspondiente a esa capa o bien removerla.

T A B L A 2

PRESION DE CONTACTO ADMISIBLE SOBRE ROCA FRAGMENTADA	
ICR	$q_a$ (kg/cm <sup>2</sup> )
100	293
90	196
75	117
50	68
25	29
0	10

Nota: Si el valor tabulado de  $q_a$ , excede la resistencia última a la compresión de la roca ( $q_u$ ), obtenida en ensayos de compresión no confinados sobre muestras inalteradas, tómese  $q_a = q_u$ . (Ref. 5).

El proyecto contempla edificios de uno o dos niveles, transmitiendo al terreno cargas reducidas, del orden de 1 a 2 t/m<sup>2</sup>. Estas cargas son reducidas y conducen al empleo de una cimentación superficial. El ICR de la roca detectada en la zona es mayor de 20, y corresponde con un valor de q<sub>a</sub> igual a 26 kg/cm<sup>2</sup>. El menor q<sub>u</sub> obtenido en las pruebas de compresión no confinadas realizadas en laboratorio fué de 10.4 kg/cm<sup>2</sup>, valor que debe ser tomado como q<sub>a</sub> para fines de diseño.

Otro aspecto que es indicativo de la calidad de la roca es el comportamiento de edificaciones cercanas al sitio en estudio. En la zona 1, o zona urbana de Cancún, la mayoría de las construcciones son de uno y dos niveles, y la capacidad de carga de la roca caliza es muy superior a las cargas que transmiten estas estructuras. Las cimentaciones se han resuelto a base de zapatas desplantadas a una profundidad del orden de 1 m, y hasta el momento, su respuesta ha sido satisfactoria.

Según la Ref. 2, una de la estructuras que transmite mayores esfuerzos al terreno de la zona, es el paso a desnivel que une el Aereopuerto de Cancún con la ciudad, cuyas zapatas se diseñaron para una capacidad de carga de 45 t/m<sup>2</sup> y los asentamientos teóricos calculados resultaron inferiores a 1 cm.

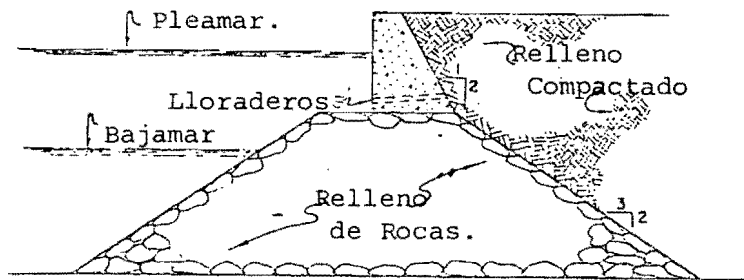
El anteproyecto considera estructuras de atraque. Estas estructuras pueden ser masivas o estar apoyadas sobre pilotes.

Las primeras son convenientes cuando el estrato resistente se encuentra cerca de la superficie del terreno, y pueden estar constituidas por muros de gravedad, en voladizo, gaviones, tablestacas, etc. (Fig. 12). Las segundas son adecuadas para terrenos de baja resistencia y un estrato competente bajo él, o cuando se busque absorber energía aprovechando la flexibilidad de la estructura (Fig. 13).

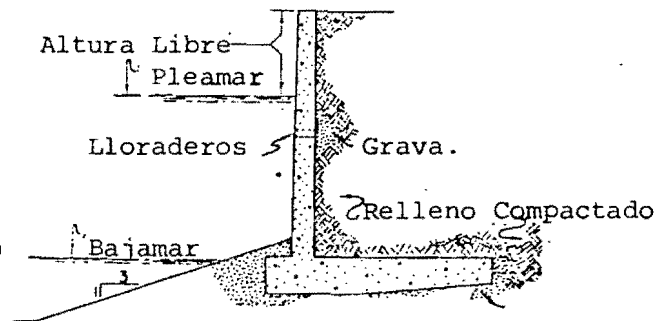
Sin embargo, en marinas para botes de pequeño calado, se han utilizado con mayor frecuencia los atracaderos de tipo flotante (Fig. 14). Estos están constituidos por un material de flotación que debe ser elegido con cualidades de fatiga, desgaste y resistencia a la intemperización tales que se pueda asegurar su funcionabilidad durante la vida útil de proyecto.

Los materiales de flotación actualmente en uso, pueden clasificarse en tres grupos. El primero de ellos es el constituido por los sólidos de baja densidad, como el poliuretano, el polietileno y las espumas. Pueden estar recubiertos por una capa protectora (ejemplo resina epóxica) para evitar la atracción a algas u otras especies marinos que pudieran dañarlo.

El segundo grupo lo conforman los materiales sólidos con forma cilíndrica e impermeables, los que pueden ser: a) moldeados con materiales sintéticos, como la fibra de vidrio reforzada con resina de poliéster, los compuestos de caucho o el P.V.C.;

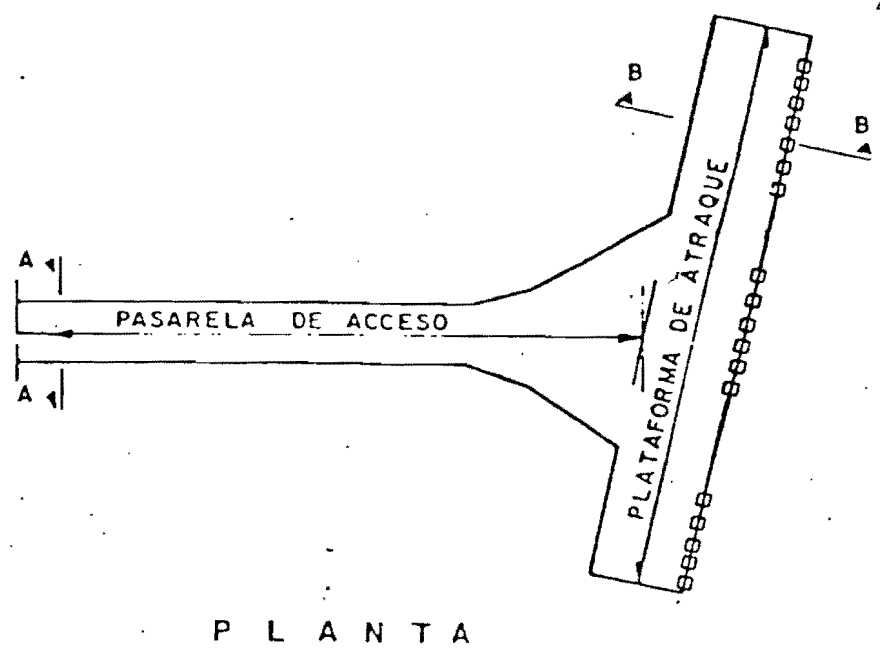


Estructura De Gravedad.

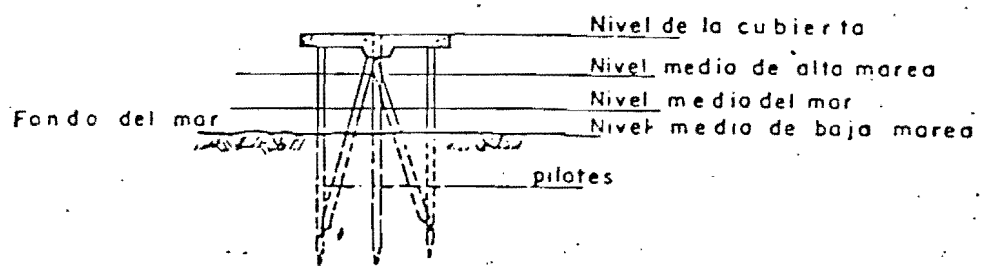


Estructura en Voladizo.

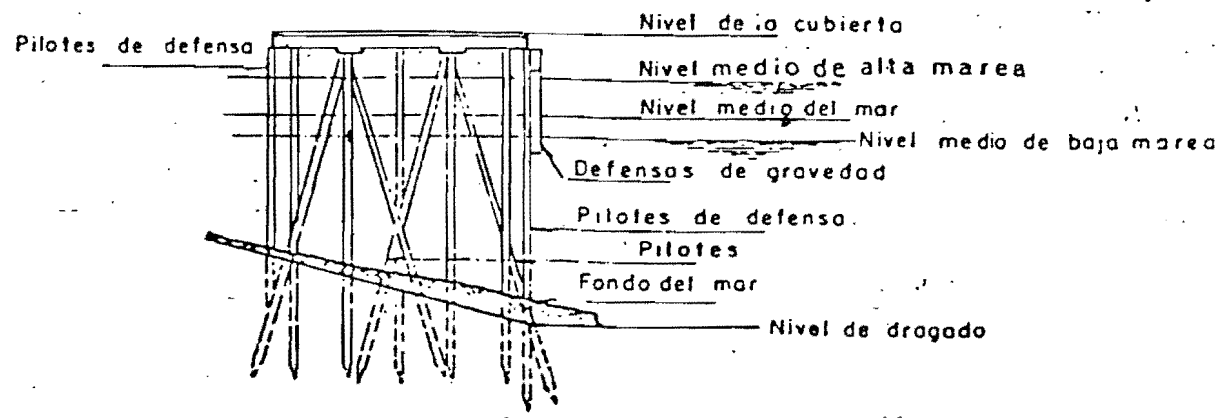
FIG. 12 TIPOS DE ATRACADEROS MASIVOS MAS COMUNES.



P L A N T A

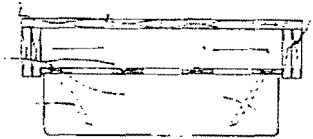


S E C C I O N    A - A

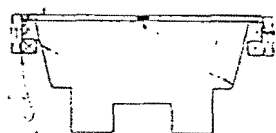


S E C C I O N    B - B

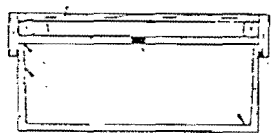
FIG. 13    ESTRUCTURAS SOBRE PILOTES



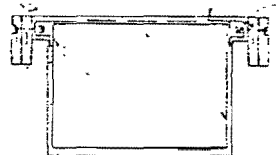
Flotador de Polietileno.



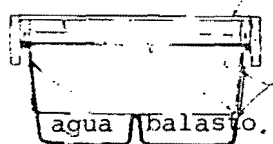
Concha de Fibra de Vidrio.



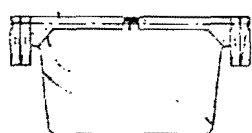
Cubeta de Hormigón Pref.



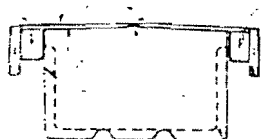
Cubierta de Polietileno.



Flot. de Polietileno Compensado.



Concha de Fibra de Vidrio.



Conchas de Fibra de Vidrio.



FIG. 14. DIFERENTES TIPOS Y FORMAS DE FLOTADORES.



b) prefabricados metálicos, utilizando el acero y el aluminio; y c) tubos y bidones.

Por último, también se utilizan piezas de hormigón aligeradas, lo que se consigue ahuecando su interior y utilizando cemento y agregados de baja densidad.

La elevación de la plataforma de atraque generalmente se sitúa a unos 30 cm por arriba de la pleamar y con ancho de 1.20 a 2.40 m en plataformas principales y de 0.75 a 0.90 m en plataformas secundarias.

Cabe hacer notar que la región es asísmica, aunque está sujeta a ciclones, durante los cuales se han registrado velocidades de viento de más de 160 km/h (Ref 2).

Se ha estimado el total a excavar, por concepto de cimentaciones, en 40,000 m<sup>3</sup> b. El material a excavar es roca fracturada de calidad pobre.

#### EQUIPO

La poca profundidad de desplante que se prevé y la pobre calidad de la roca superficial, hace pensar en la posibilidad del uso de mano de obra bruta para la realización de las excavaciones de los cimientos. Esta mano de obra utilizará los elementos tradicionales de excavación como son el pico, la pala, cinceles y mazos.

En el caso de necesitarse equipo, puede pensarse en compresores y martillos neumáticos, o en retroexcavadoras de poca capacidad. En ambos casos, el material resultante no es de gran tamaño, sino una arena con piedras del tamaño de grava. Este es un material útil para el relleno de las excavaciones hechas para las cimentaciones o para las tuberías que deberán ser colocadas con el fin de llevar los servicios necesarios al proyecto.

#### COSTOS ESTIMADOS

##### A) Excavación.

##### 1) Con maquinaria mayor.

Equipo	C. Unitario	Producción	Costo/m <sup>3</sup> b
Retroexc. CASE 680 1.5 yd <sup>3</sup>	\$7,500/hr	30 m <sup>3</sup> b/hr	\$250.00

COSTO TOTAL: \$250.00/m<sup>3</sup> b

##### 2) Con maquinaria menor.

Equipo	C. Unitario	Producción	Costo/m <sup>3</sup> b
Compresor Gard Denv SP325	\$2,300/hr	60 m <sup>3</sup> b/hr	\$38.33
Perforadora Ing Ram JR300	\$980/hr	16 m <sup>3</sup> b/hr	\$61.25

Materiales	C. Unitario	Producción	Costo/m <sup>3</sup> b
Acero de Barrenación 7/8"	\$22,400/jgo	700 m <sup>3</sup> b/jgo	\$32.00

COSTO TOTAL: \$131.58/m<sup>3</sup> b

##### 3) Con mano de obra.

Mano de Obra	C. Unitario	Producción	Costo/m <sup>3</sup> b
0.1 Cabo + 1 Peón	\$1,500/tno	1.5 m <sup>3</sup> b/tno	\$1,000.00
Herramientas (2% Cuad.)	\$30.00/tno	1.5 m <sup>3</sup> b/tno	\$20.00

COSTO TOTAL: \$1,020.00/m<sup>3</sup> b

## GRUPOS DE TRABAJO ESCOGIDOS Y COSTOS

I) Cimentaciones.

A) Excavación de todas las cimentaciones del proyecto.

Cantidad total de excavación: 40,000 m<sup>3</sup>b

Costo directo Gpo. A-2: \$131.58/m<sup>3</sup>b

Costo total: \$5,263,200.00

Por lo tanto, se tendrá un costo unitario por concepto de cimentaciones, de \$131.58/m<sup>3</sup>b.

## VII

## CONCLUSIONES

Desde el punto de vista constructivo, el proyecto es totalmente factible, ya que se cuenta con el equipo y la capacidad técnica para su realización.

Una de las conclusiones interesantes es la primacía que aún tiene la técnica de voladuras en la explotación de roca de calidad buena. Los equipos especiales de excavación en roca, como los ya mencionados, todavía tienen costos muy elevados y bajos rendimientos, por lo que son todavía incosteables en los lugares donde puedan utilizarse explosivos. Sin embargo, confiamos en que estos equipos seguirán desarrollándose y mejorarán tanto su eficiencia como sus costos.

Desde el punto de vista económico, sin embargo, el panorama luce distinto. El costo directo total estimado para el dragado, los rellenos y las cimentaciones que exige el proyecto es de \$677,586,092.00. A este total habría que agregarle los costos directos de las obras de limpieza, urbanización y construcción de estructuras terrestres y marinas, además de los gastos indirectos y las utilidades.

Considerando sólo los costos directos, el terreno debe venderse a más de \$3,500/m<sup>2</sup>. Puede asegurarse un aumento en precio alrededor de \$3,000/m<sup>2</sup> al agregarle los costos señalados

en el párrafo anterior. En el área del proyecto, el precio de un terreno urbanizado (sin la infraestructura turística con que cuenta el proyecto analizado), es de \$3,500/m<sup>2</sup> aproximadamente, lo que significa un precio cercano a la mitad del precio de venta que tendrán los terrenos del proyecto.

Consideramos que un proyecto de esta naturaleza puede ser ampliamente requerido por la gran infraestructura que representa. Así mismo es un proyecto que atraerá, mas bien, a inversionistas extranjeros los que verán la conveniencia natural del sitio, como la buena protección que se le ofrece a sus embarcaciones, por encontrarse a orillas de la Laguna de Nichupte, su privacidad y belleza.

Sin embargo, el precio a pagar puede resultar poco atractivo, por lo que se sugiere un estudio a fondo del mercado. Si el estudio de mercado resultara desfavorable, se sugiere la posibilidad de un cambio en el diseño arquitectónico que proporcione una mayor cantidad de terreno urbanizable, lo que haría que el precio de venta por m<sup>2</sup> se reduzca.

Creemos pues, que nuestros objetivos se han visto cumplidos al definir la factibilidad del proyecto, tanto desde el punto de vista constructivo, como desde el económico.

## VIII

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- American Society of Civil Engineers (ASCE).  
REPORT ON SMALL CRAFT HARBORS.  
ASCE. New York, E. U. A., 1969.
- 2.- Botas G. y Ortega G.  
CIMENTACIONES EN EL AREA URBANA DE CANCUN, Q. R.  
En la VIII Reunión Nacional de Mecánica de Suelos.  
Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. Tomo I.  
Guanajuato, México, 1976.
- 3.- Herrejon, L.  
BASES PARA EL ANALISIS DE ESTRUCTURAS MARITIMAS.  
En el curso Proyecto y Construcción de Obras Marítimas  
División de Educación Continua, Facultad de Ingeniería  
Universidad Nacional Autónoma de México. Tomo I.  
México, 1983.
- 4.- Leet, L. D. y Judson, S.  
FUNDAMENTOS DE GEOLOGIA FISICA.  
Ed. Limusa. México, 1982.
- 5.- Peck, R.; Hanson, W. y Thornburn, T.  
INGENIERIA DE CIMENTACIONES.  
Ed. Limusa. México, 1982.
- 6.- Pettijohn, F. J.  
ROCAS SEDIMENTARIAS.  
Editorial Universitaria de Buenos Aires.  
Buenos Aires, Argentina, 1980.
- 7.- Rico, A. y Del Castillo H.  
LA INGENIERIA DE SUELOS EN LAS VIAS TERRESTRES.  
Ed. Limusa. México, 1982.
- 8.- Springall G. y Espinosa L.  
EL SUBSUELO DE LA PENINSULA DE YUCATAN.  
En la VI Reunión Nacional de Mecánica de Suelos.  
Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. México, 1982.