



84  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“ESTUDIO PARA LA CIMENTACION DE LA  
PLANTA DE ACETALDEHIDO EN EL  
COMPLEJO PETROQUIMICO LA CANGREJERA,  
VER.”**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**I N G E N I E R O C I V I L**

**P R E S E N T A :**

**LORENZO FELIX HERNANDEZ ZENDEJAS**

**FALLA DE ORIGEN**

MEXICO, D. F.

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 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-1-067/95

Señor  
**LORENZO F. HERNANDEZ ZENDEJAS**  
Presente.

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **ING. HECTOR SANGINES GARCIA**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

**"ESTUDIO PARA LA CIMENTACION DE LA PLANTA DE ACETALDEHIDO EN EL COMPLEJO PETROQUIMICO LA CANGREJERA, VER."**

**INTRODUCCION**

- I. DATOS GENERALES DEL LUGAR**
- II. DESCRIPCION DEL PREDIO Y DEL PROYECTO**
- III. EXPLORACION DE CAMPO**
- IV. ENSAYES DE LABORATORIO**
- V. ESTRATIGRAFIA Y PROPIEDADES DEL SUBSUELO**
- VI. ANALISIS DE LA CIMENTACION**
- VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**  
Cd. Universitaria, a 22 de mayo de 1995.  
EL DIRECTOR

  
ING. JOSÉ MANUEL COVARRUBIAS SOLÍS

JMCS/GMP\*nl

**A MIS MAESTROS**

**QUE SEMBRARON EN MI LA NECESIDAD DEL CONOCIMIENTO.**

**AL ING. HECTOR SANGINES GARCIA**

**POR SU GUIA EN ESTE TRABAJO.**

**A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS**

**POR EL ESTIMULO Y LA CONVIVENCIA.**

**EN ALGUNOS PROYECTOS, LA APLICACION DIRECTA DE DATOS PROVENIENTES DE LA EXPLORACION, MUESTREO Y ENSAYE DE SUELOS, RESULTA INADECUADA PARA LOGRAR UN DISEÑO SATISFACTORIO, EN OTROS, LA EXPLORACION, EL MUESTREO Y LOS ENSAYES PODRIAN SER INNECESARIOS, ASI COMO EL USO Y ABUSO DE METODOS ESTADISTICOS PARA EL ANALISIS DE DATOS DE EXPLORACION.**

## I N D I C E

### INTRODUCCION.

- I.- DATOS GENERALES DEL LUGAR.
- II.- DESCRIPCION DEL PREDIO Y DEL PROYECTO.
- III EXPLORACION DE CAMPO.
- IV.- ENSAYES DE LABORATORIO.
- V.- ESTRATIGRAFIA Y PROPIEDADES DEL SUBSUELO.
- VI.- ANALISIS DE LA CIMENTACION.
- VII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

***INTRODUCCION.***

## **INTRODUCCION**

El presente trabajo tiene como finalidad describir y desarrollar un planteamiento o seguimiento sencillo y lógico, que nos lleve a definir y recomendar un tipo de cimentación aceptable, para un tipo de estructura, desde el punto de vista de mecánica de suelos.

Aunque el aspecto de capacidad de carga, es importante, también existen otros factores que pueden definir el detener la ejecución de un proyecto, como son: el aspecto económico, que puede influir tanto que sea incosteable construir una cimentación, o el de factibilidad desde el punto de vista de método constructivo.

Estos elementos conjugados, nos definen el tipo de cimentación adecuado para una estructura. En este trabajo, nuestro punto de vista, condiciones y recomendaciones, serán enfocadas en un alto porcentaje al aspecto de la mecánica de suelos.

El tema que se desarrollará, será la elección del tipo de cimentación para una estructura industrial en el complejo petroquímico de "LA CANGREJERA", Ver.

El planteamiento general y los puntos a tratar para el desarrollo del presente trabajo son los siguientes:

**Consta de ocho capítulos incluyendo el de introducción, en los cuales se abordan los diferentes aspectos del tema, de acuerdo a una metodología definida.**

**En el primer capítulo, se hace referencia a la concepción del proyecto de esta planta industrial y los antecedentes de la creación general de un complejo petroquímico.**

**Los datos geográficos que son propios del lugar, donde se ubicará esta planta industrial, así como los datos geológicos de la zona de localización, serán tratados en el segundo capítulo de este trabajo.**

**Componen el tercer capítulo, la descripción genérica de la planta industrial y del predio de localización de la misma, indicándose los datos técnicos que provienen del diseño de la planta industrial, de igual forma las características físicas más específicas de el lugar de ubicación.**

**En el cuarto capítulo, se plantea la exploración de campo, que se efectuó con la debida localización y la justificación de esta distribución, así mismo, se exponen los resultados obtenidos de dicha exploración.**

**El quinto capítulo, aborda los resultados obtenidos en laboratorio, de las pruebas efectuadas a las muestras obtenidas en el lugar, así como una explicación breve de la justificación de dichas pruebas.**

Las propiedades del subsuelo desde el punto de vista de mecánica de suelos, que se concluyen de los resultados de laboratorio, componen el sexto capítulo, tal como la estratigrafía analizada de los sondeos efectuados en la exploración de campo.

El análisis de las propiedades y características del subsuelo conjuntado con la información del proyecto de la planta industrial, nos determinarán las alternativas a seguir para definir y adecuar un tipo de cimentación acorde a la importancia del proyecto; esto es tratado en el séptimo capítulo.

En el octavo capítulo, se definen y explican las razones principales que nos inclinan a estudiar más a detalle, así como recomendar un tipo de cimentación adecuada a las características e importancia del proyecto, conjuntamente con el aspecto de mecánica de suelos.

En el último capítulo, que comprende este trabajo, se mencionan también las recomendaciones que se marcan para ser consideradas en el análisis del diseño estructural de la cimentación, al igual que los aspectos constructivos que se deben cuidar durante su desarrollo.

Con la explicación precedente, nos abocamos a entrar de lleno al presente trabajo; al cual se denominó.

**"ESTUDIO PARA LA CIMENTACION DE LA PLANTA DE ACETALDEHIDO,  
EN EL COMPLEJO PETROQUIMICO "LA CANGREJERA", VER.**

Con los nuevos descubrimientos de mantos petrolíferos ubicados en el Sureste del país, se origina un mercado desarrollo en esta región que abarca los estados de: Veracruz, Tabasco, Campeche y Chiapas.

Este trabajo tiene como marco de localización el estado de Veracruz, siendo más específica la región que comprende las ciudades de: Minatitlán, Coatzacoalcos y los Complejos Petroquímicos de "PAJARITOS" y de "LA CANGREJERA".

El dinamismo económico, ha provocado un desarrollo acelerado en la construcción; el cual ha sido enfocado principalmente a la industria.

El crecimiento futuro promete ser aún más impresionante que el observado hasta hoy en esta región. Su logro, es evidente que requiere ampliar y extender la infraestructura existente, lo que implica numerosas e importantes obras de transporte, comunicación y distribución de carga, almacenamiento, descarga y proceso de fabricación.

Algunas áreas altas se ven ya saturadas de instalaciones industriales y los nuevos desarrollos han tenido que buscar terrenos más bajos cercanos al río, con más riesgos de inundación y peores condiciones de cimentación y pronto habrá que ganar tierras a las áreas inundadas y a los pantanos, mediante rellenos, y habrá que emprender mayores obras de fijación de las márgenes del río y de regulación de sus avenidas, para permitir el crecimiento horizontal de estos polos de industria, hasta formar un solo e imponente emporio.

La urgente necesidad de tener una economía estable para el país, que se ve cada día más alterada debido al desenfrenado crecimiento demográfico y sabiendo que nuestro país cuenta con grandes mantos de petróleo, surge la necesidad imperiosa de planear la utilización del petróleo, para que ya no exporte el producto crudo, si no el resultado del tratamiento y destilación del mismo.

Sabiendo además que el petróleo es en este tiempo, una fuente de energía importante en el mundo y conociendo al hecho de que es un recurso no renovable, se origina la idea de utilizar este recurso como una base para la negociación internacional, que con una administración bien encaminada de esta riqueza, se podría disminuir la enorme dependencia económica y técnica, que es con la que contamos en la actualidad.

Con estas ideas surge en el seno de Petróleos Mexicanos, el proyecto de construir una serie de complejos petroquímicos para la destilación y tratamiento del crudo; esto trae como consecuencia, un incremento considerable en el desarrollo de la Industria de la Petroquímica, tendería a disminuir la dependencia técnica y a aumentar los empleos especializados fijos, además de los empleos eventuales que originan un desarrollo regional muy marcado.

Dentro de este proyecto surge el complejo petroquímico de "LA CANGREJERA", Ver., ubicado a 10 Km. al Sureste de la Ciudad de Coatzacoalcos, y como elemento que forma el conjunto, la Planta de Acetaldehído.

**El diseño de esta planta fué realizado por la firma alemana UHDE, en base al cual se realizaron los estudios correspondientes para definir el tipo de cimentación recomendable para esta estructura industrial.**

**Para su localización veanse las figuras: 1.1, 1.2 y 1.3**

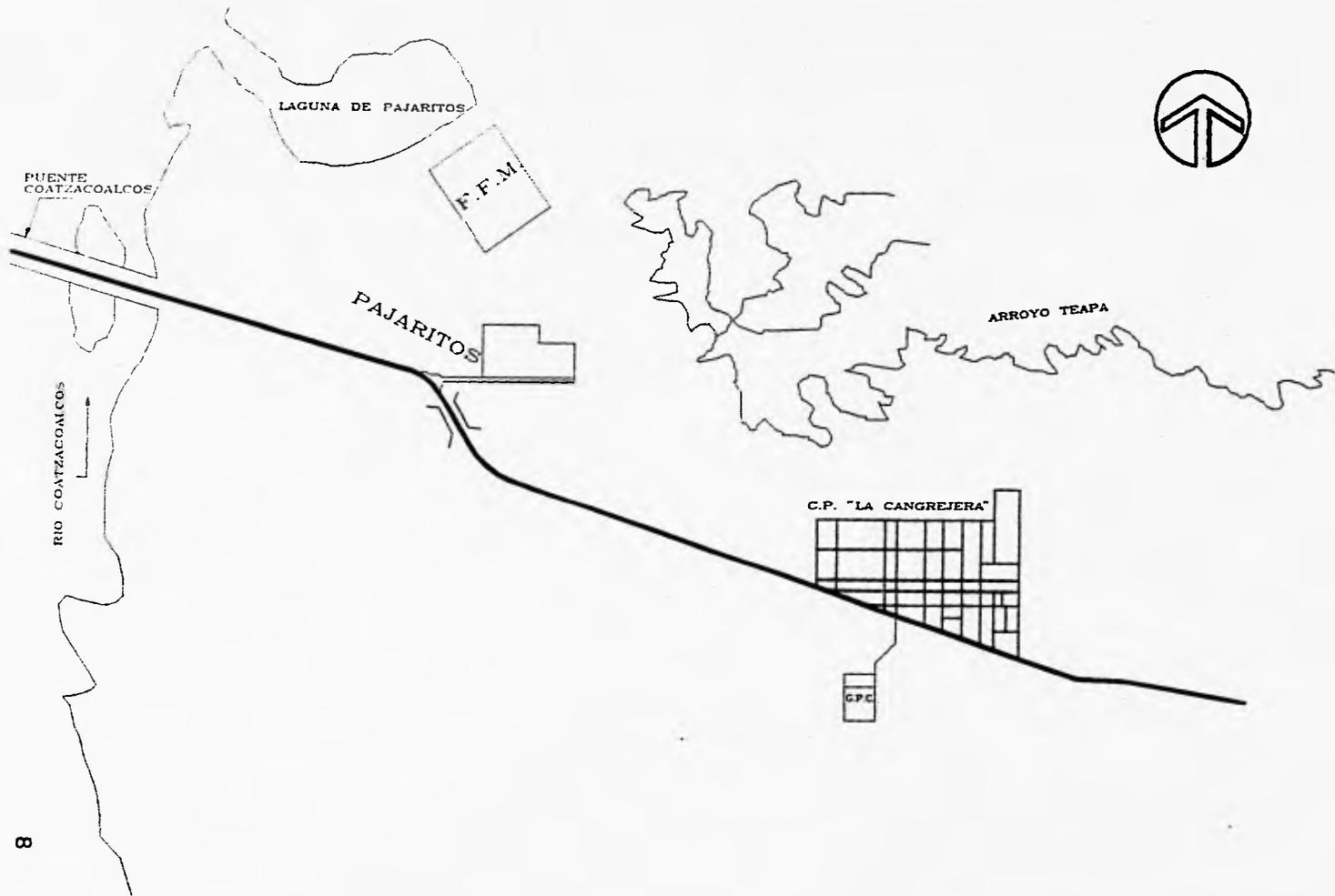
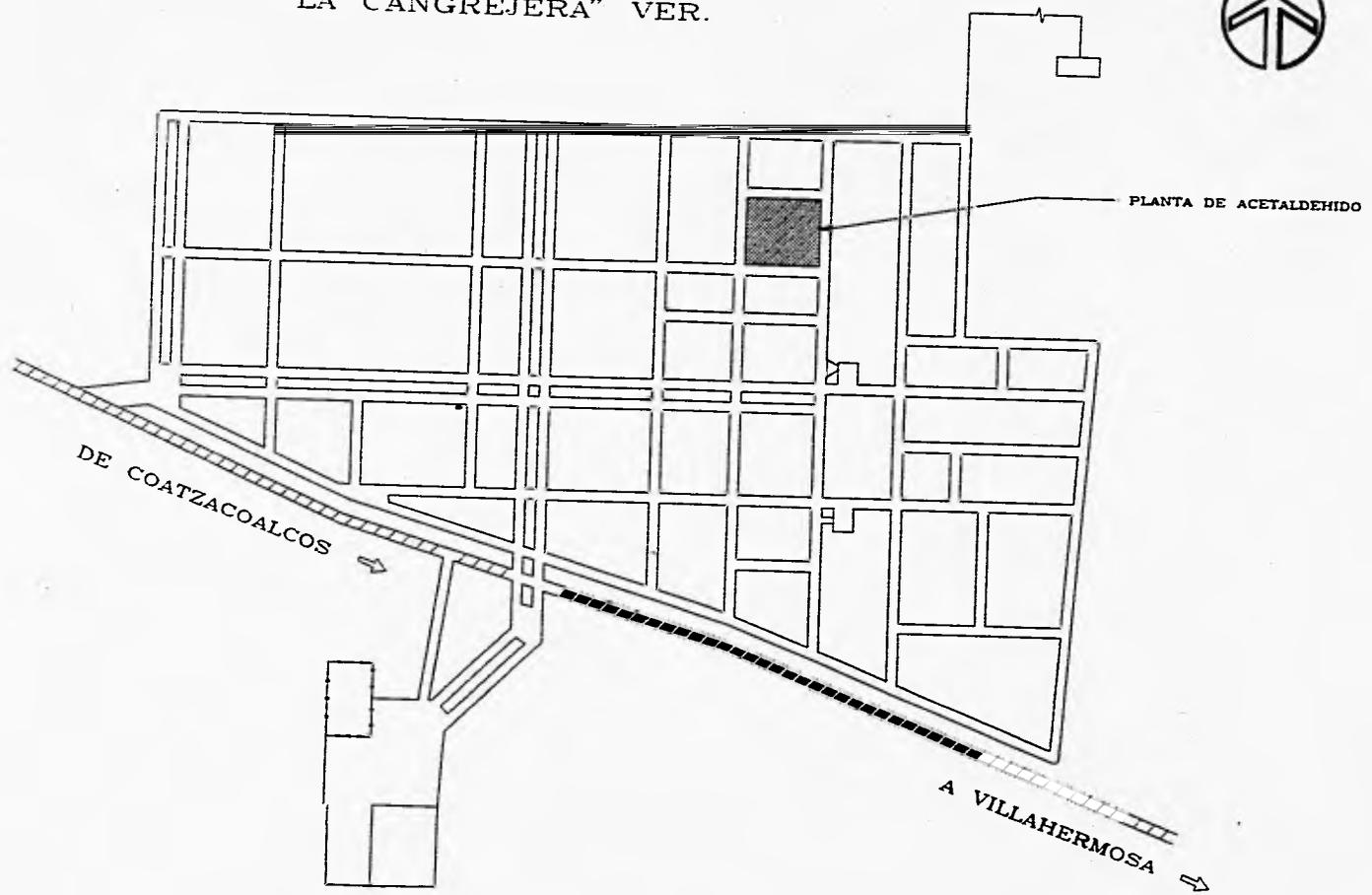


FIG. I. 1

COMPLEJO PETROQUIMICO  
"LA CANGREJERA" VER.



6

FIG. I. 2



**I.- DATOS GENERALES DEL LUGAR.**

### **PROPIEDADES GEOGRAFICAS:**

El complejo Petroquímico " LA CANGREJERA ", se localiza a 10 Kms. de la ciudad y puerto de Coatzacoalcos, sobre la carretera que une a éste Puerto y el Estado de Veracruz con el Sureste de la República Mexicana.

Clima cálido y húmedo es el propio de esta región costera, que en época de calor rebasa los 38° C de temperatura, y en época de lluvias, que abarca los meses de Septiembre a Febrero, las lluvias tienen una duración de 2 y 3 días continuos; por lo cual, es una región de precipitación muy alta, pues rebasa los 2,000 mm. anuales. Los vientos predominantes son en la dirección Norte Sur, siendo mayores a los 100 Km/Hr.

Toda esta zona poseé un subsuelo muy fértil, propio para la agricultura, aunque esta actividad se practica en los últimos años, esta atención se ha desviado y se ha enfocado primordialmente en un fenómeno que incrementará el desarrollo de la región, que es la industrialización; pues con este proceso se crean gran cantidad de empleos de tipo industrial eventual, que son mejor remunerados que los de tipo agrícola.

En términos generales existen dos tipos de terrenos, los de inundación y los que se localizan en la zona alta.

Los terrenos que se localizan en la zona alta se caracterizan por su notoria capacidad de carga; por tal motivo, se saturan de todo tipo de obras: casa habitación, oficinas, industrias, y quedan los de inundación que son utilizados en menor grado. Ver figura No. II.1

Una característica importante es que está presente la flora, propia de regiones pantanosas y estanques, junto con el ambiente marino, la humedad reinante y el clima caluroso favorecen el intemperismo químico que se manifiesta por los diferentes colores o tonalidades que tiene el suelo.

### **SISMICIDAD EN LA REGION:**

En el aspecto sísmológico, el Estado de Veracruz queda definido en tres regiones, que están basadas en los registros obtenidos en diferentes puntos o zonas del Estado, que son los que originaron esta regionalización.

A continuación se relacionan estas regiones:

### **ZONA ASISMICA:**

Se localiza entre los paralelos 19°30' latitud norte y 22°25' latitud norte; región característica de poca o nula actividad sísmica. En esta región, tenemos como ejemplo las ciudades de Nautla, Poza Rica y Tampico, zona que corresponde a la parte Norte del Estado.

### **ZONA PENESISMICA:**

Localizada entre los paralelos 19°30' latitud norte y 18°30' latitud norte, donde la actividad sísmica es baja. En esta región tenemos las ciudades de Alvarado, Huatusco, Jalapa, el puerto de Veracruz y otras ciudades importantes.

Y la última zona de esta clasificación:

**ZONA SISMICA:**

Se le llama también zona de sismos frecuentes. Es la región localizada al sur del paralelo 18°30' latitud norte y que se limita hasta los Estados de Tabasco, Chiapas y Oaxaca, por el paralelo 17° latitud norte.

Dentro de esta zona, que comprende desde los Tuxtles hasta internarse en el Estado de Tabasco, se localiza la zona donde se encuentra la ciudad de Minatitlán y Coatzacoalcos, así como donde se desplantó el complejo petroquímico " LA CANGREJERA ".

Algunos sismos de magnitud considerable han afectado esta región, pues se han presentado sismos importantes que tienen su epicentro localizado en la plataforma continental del Golfo de México, frente a la ciudad de Coatzacoalcos.

A continuación se presenta una tabla donde se indican los sismos registrados en las ciudades cercanas al complejo petroquímico " La Cangrejera ".

**LOCALIZACION (CIUDAD)**

**INTENSIDAD**

<b>Escala Mercalli</b>	<b>MINATITLAN</b>	<b>JALTIPAN</b>	<b>COATZACOALCOS</b>
III	20	20	19
IV	9	9	11
V	5	6	2
VI	3	4	3
VII	3	2	3

- Esta gran actividad sísmica está influenciada directamente por las fallas continentales que atraviesan el Estado de Veracruz.

La localización de estas fallas se indica a continuación y se pueden observar en las figuras II. 1. 1.

La Falla de Zacamboxo entra al estado por la región que comprende Teocelo, Puente Nacional, Paso de Ovejas y en las inmediaciones de la Ciudad y Puerto de Veracruz por Mocambo y se interna en el Golfo de México.

La Falla Clarión pasa por las cercanías de las ciudades de Orizaba y Córdoba, continúa por Tlacotalpan, Santiago y San Andrés Tuxtla, internándose en el Golfo a unos 20 Km. al Sur de Punta Zapotitlán, frente a Coatzacoalcos.

Finalmente, tenemos la Falla probable del Istmo de Tehuantepec que tiene una trayectoria casi paralela e inmediata a la margen izquierda del Río Coatzacoalcos, y que toca las ciudades de Coatzacoalcos y Minatitlán, importantes por su gran potencial actual y futuro, y se interna en el Golfo de México hasta interceptar la Falla Clarión y la Falla Zacamboxo que son puntos donde se han localizado dos epicentros importantes, cuya intensidad fué de VI y VII en la Escala Mercalli.

El marco formado con la información anterior nos orienta sobre la importancia de considerar la probable presencia de este fenómeno sísmico dentro de los estudios que se realicen, y la probable respuesta del terreno ante el mismo.

Todo lo anterior nos alerta para tomar en cuenta este fenómeno impredecible, pero de marcadas e importantes consecuencias cuando actúa.

#### **PROPIEDADES GEOLOGICAS:**

#### **GEOLOGIA REGIONAL**

Esta zona se encuentra dentro de lo que se conoce como Cuenca Salina del Istmo, quedando definida por: El Macizo de San Andrés al Poniente, la Cuenca de Veracruz al Suroeste, los plegamientos frontales de la Sierra al Sur; que sigue una línea imaginaria en el Juile, el Cerro Manatí,

La Encantada, Las Limas y el Cerro Pelón, al Norte colinda con el Golfo de México, y al Oriente queda aún sin definir esta frontera, considerándose que este límite se adentra en el Estado de Tabasco. Esta Cuenca, por lo tanto, cuenta con una superficie aproximada de 15,000 km<sup>2</sup>.

### **MIOCENO MEDIO**

En este período se origina la "Formación Fillisola", que a continuación se describe su composición.

La parte superior está constituida por arcilla arenosa de color rojo; que al intemperizarse se vuelve rojiza o de color ladrillo, más abajo hay arenas cuarcíferas con fragmentos fósiles marinos mal conservados; en la parte inferior de estas arenas cuarcíferas existen areniscas de grado medio, duras o suaves, micáceas que varían de color café en la parte superior a gris azulado en la parte inferior.

En la parte basal se encuentran lutitas compactadas de color gris a café y capas de areniscas pobremente cementada.

El espesor de esta formación varía de 250 a 400 m.

Otra formación importante de este período, es la formación Paraje Solo, que consta de dos partes; la superior compuesta por areniscas de grano grueso e fino, de color gris a azulado, más o menos carbonozas; y la

parte inferior constituida por areniscas compactadas de grano grueso de color gris y gris pardo, interestratificadas con arcillas.

La fauna que contiene esta parte inferior, corresponde a aguas poco profundas y no se conoce ninguna especie característica.

El espesor de esta formación varía de 300 a 600 m.

### **MIOCENO SUPERIOR**

Este período tiene como característica la formación Agueguexquite, que está compuesta en su parte superior por arcillas ligníticas de color azul grisáceo, algunas veces tobáceas con moldes de fósiles; Su parte media la componen areniscas compactadas de grano fino, de medio gris pardusco e gris azulado, ligeramente fosilíferas, y en ocasiones con formaciones calcáreas; La parte inferior está constituida por areniscas fosilíferas suaves, café, arcillas muy arenosas bien laminadas y arenas amarillentas con bandas de arcilla arenosa con abundantes foraminíferos.

Su espesor varía de 400 a 500 m., y se localiza solo en la parte norte de la Cuenca Salina del Istmo.

La formación Cedral, en general descansa sobre la formación Agueguexquite, y es una región típica de su presencia la parte Norte de la Cuenca Salina del Istmo.

Su composición general es a base de arenas, arcillas y conglomerados, suponiéndose su origen deltaico, o de un medio ambiente palustre. En general, carece de fósiles, variando su espesor de 500 a 600 m.

### **PLIOCENO**

La formación básica está constituida por areniscas, arenas y arcillas de color gris a verde azulado, con restos de plantas y lignitas, y por un cuerpo de conglomerados que es el elemento estratigráfico notable, conociéndose también, como Conglomerado Acalapa. Está constituida por guijarros de roca ígnea intrusiva del tipo granítico en matriz arenosa, siendo difícil especificar su origen.

### **PLEISTOCENO**

Los depósitos de este período cubren la parte norte de la Cuenca Salina del Istmo. Su constitución es litológica y muy variada, pues se presentan desde clásticos de grado fino hasta gravas. En algunas zonas hay arcillas de color gris azulado, dentro de las que se encuentran cuerpos o bloques de arena.

El espesor de estos depósitos varía de uno a dos metros hasta 40 metros.

A continuación se presenta una tabla, Figura II.2, a manera de resumen, de las formaciones de la Cuenca Salina del Istmo.

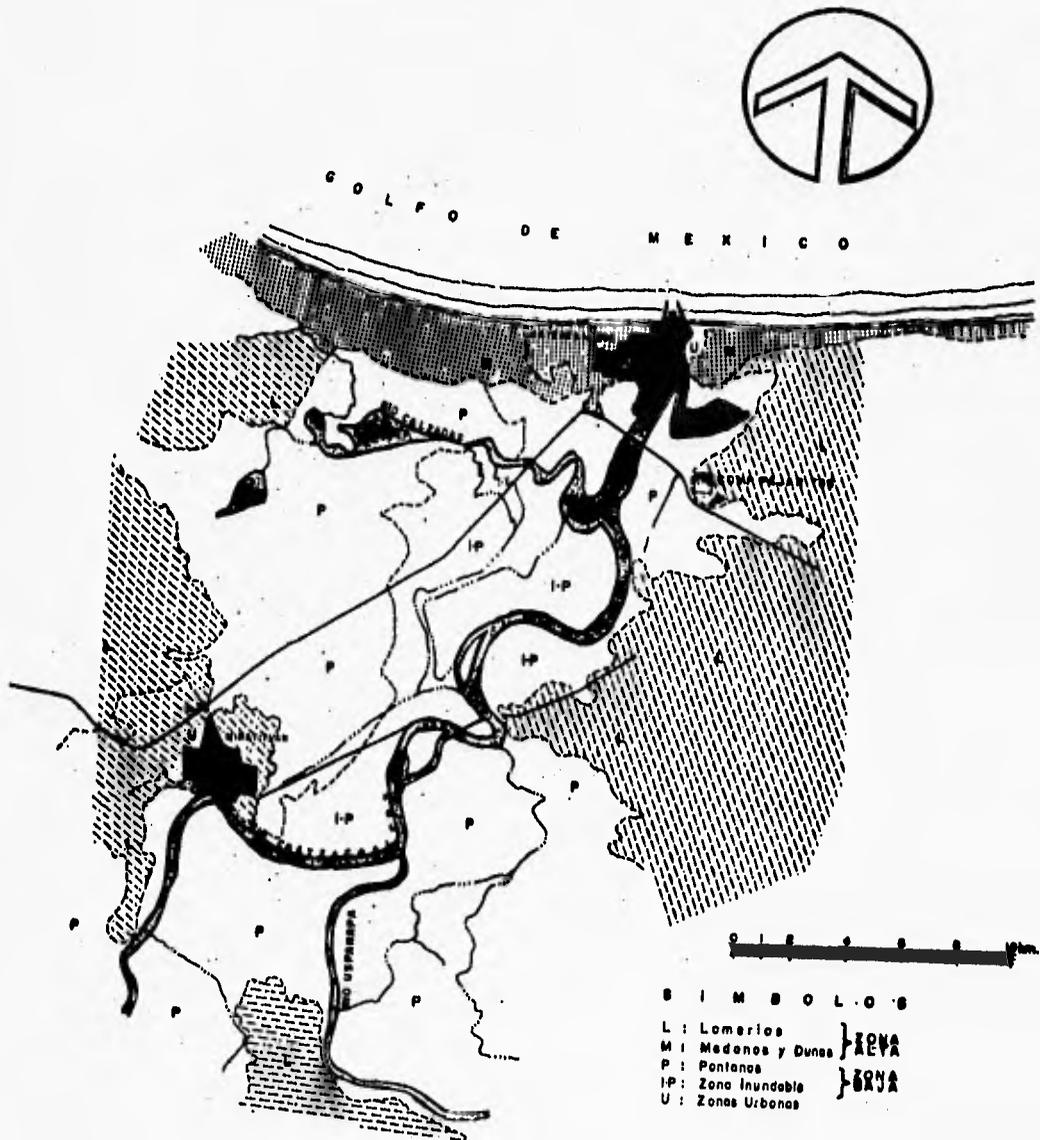
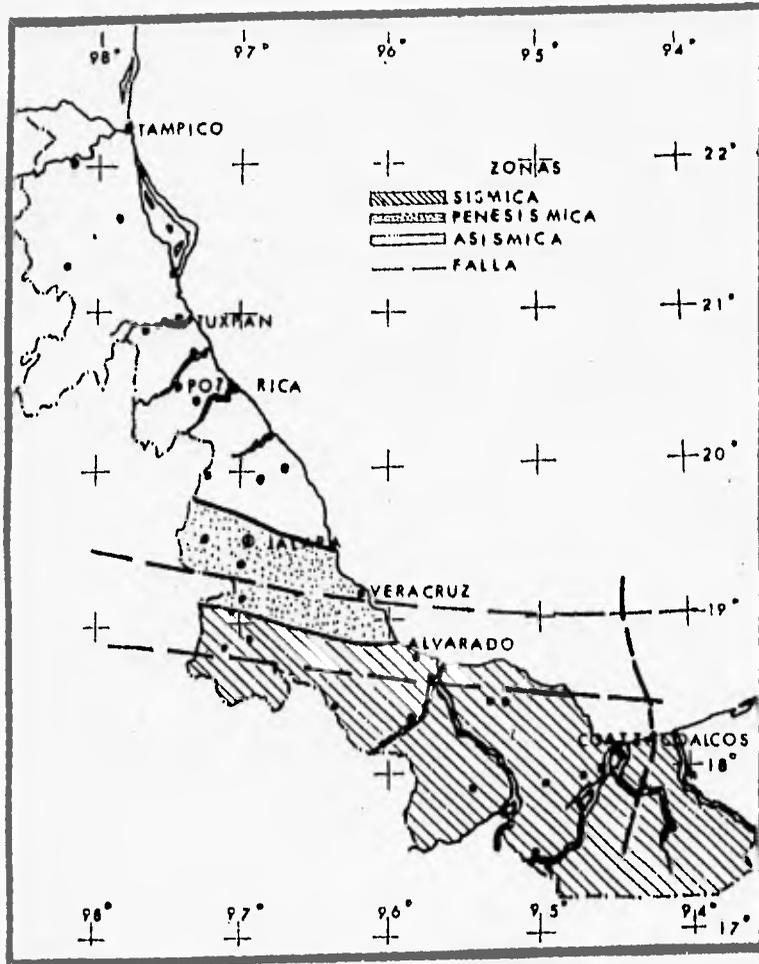


FIG. II.1



CARTA SISMICA DEL ESTADO DE VERACRUZ

FIG II.1.1

**FORMACION ESTRATIGRAFICA DE LA CUENCA SALINA DEL ISTMO.**

<b>ERA</b>	<b>PERIODO</b>	<b>ETAPA</b>	<b>FORMACION</b>
<b>T E R C I A R I A</b>	PLEISTOCENO		ALUVION, ARENA DE PLAYA Y DEPOSITOS DE RIO
	PLIOCENO		SERIE ACALAPA
	MIOCENO	SUPERIOR	CEDRAL
			AGUEGUEXQUITE
			PARAJE SOLO
		MEDIO	FILISOLA
			CONCEPCION SUPERIOR
			CONCEPCION INFERIOR
		INFERIOR	ENCANTO
			DEPOSITO
			CONGLOMERADOS NANCHITAL
	OLIGOCENO		LA LAJA
		EOCENO	

**FIG. II.2**

**II.- DESCRIPCION DEL PREDIO Y DEL PROYECTO.**

El proyecto del Complejo Petroquímico "La Cangrejera", Ver., contempla una gama de estructuras importantes, las plantas industriales varían en sus características desde torres fraccionadoras elevadas, estructuras esbeltas y pesadas, recipientes poco flexibles y pesados, tanques horizontales de almacenamiento, calderas, tanques de almacenamiento verticales flexibles, transformadores, bombas, soportes de tubería, equipo poco sensible a asentamientos, torres de enfriamiento, cisternas; hasta estructuras menores.

En términos generales, la planta de Acetaldehído se puede describir de la siguiente forma:

Tiene por objetivo producir 100,000 Ton/año de Acetaldehído crudo, teniendo como materia prima, Etileno y Oxígeno.

El proceso para su obtención es el siguiente:

El Oxígeno y el Etileno se alimentan en la parte inferior de un reactor, el cual contiene una solución acuosa de cloruro cúprico y cloruro de paladio, el Acetaldehído formado en el reactor pasa a un Demister; donde se separa el Catalizador, se enfría y fluye al Absorbedor, en el cual se separan incondensables como CO<sub>2</sub>, Etileno que no reaccionó, etc. Estos gases son alimentados nuevamente al reactor mediante el compresor de recirculación, los fondos del Absorbedor; que es agua más Acetaldehído principalmente, se alimentan a una columna para eliminar hidrocarburos ligeros por el Domo y los Fondos, son alimentados a la Columna Purificadora en la que se obtiene el Acetaldehído producto del Domo y los Fondos que es agua de desecho; se envía a tratamiento. Ver Fig. III.1.

**Este producto es básico para la fabricación de filtros de cigarrillos, alfombras, resinas, plásticos, vidrios de seguridad. etc.**

**La planta consta de una estructura de concreto reforzado en dos niveles, sobre la cual se localizan varios equipos horizontales y verticales pequeños; así como, toda la tubería de proceso de la planta. Las cargas con que contribuyen los equipos en esta estructura se transmiten por medio de columnas que tienen una separación entre ejes de 6m en ambos sentidos.**

**En el caso de que algunos equipos verticales como es el R-101 y V-102, la estructura de sustentación o soporte es de acero estructural, pues alcanza una altura de 42 m, aproximadamente, sobre nivel del piso terminado. Algunos equipos más como son: C-201, C-101, C-202, V-305 A/B, V-406 A/B, V-401, V-402 A/B/C, V-404, v-501, se desplentan sobre cimentaciones aisladas de la estructura de concreto reforzado y la de acero estructural. Ver Fig. III.2.1. y III.2.2.**

**En base a las características de la planta y de los equipos verticales y horizontales tenemos que los asentamientos diferenciales no deben sobrepasar de los valores permitidos para este tipo de estructuras industriales.**

**En la Fig. III.3, se muestran las cargas máximas verticales, horizontales y momentos que serán usados para este análisis.**

La planta de Acetaldehído se desarrolla en una plataforma de 70.00 x 120.00 m con una elevación de piso terminada de 23.00 m, esta plataforma está formada en su mayoría por cortes de terreno natural. Ver Fig. III.4

La zona donde se localiza la planta de Acetaldehído es una zona alta, es decir, es una zona o región de lomas; por lo que se le apega a la descripción genérica de estar constituido el subsuelo por materiales de mediana a alta consistencia, siendo más resistentes y menos compresibles con respecto a la zona baja o zona de inundación, donde se presentan grandes espesores de suelo con baja resistencia al corte y alta compresibilidad.

## **COMPORTAMIENTO DE CIMENTACIONES ALEDAÑAS.**

Dentro de las obras aledañas a este Complejo Petroquímico existen las obras que conforman el Complejo Petroquímico Industrial de "Pajaritos", de allí podemos tomar la Planta de Fertilizantes Fosfatados Mexicanos.

Las instalaciones actuales ocupan una superficie de 400.0 x 1000.0 metros.

La planta consta de edificios con estructura de concreto reforzado, que están cimentadas sobre zapatas aisladas de concreto, tanques cilíndricos de acero que fueron cimentados sobre anillos de concreto y dos edificios de almacén que fueron cimentados sobre zapatas aisladas.

En lo relativo a las respuestas del subsuelo bajo estas estructuras, tenemos un comportamiento satisfactorio en lo referente a asentamientos totales y diferenciales en los edificios; tanto en la cimentación de los tanques, como en los almacenes.

Las construcciones en el Complejo Petroquímico Industrial "Pajaritos", fueron en su mayoría desplantadas sobre la zona alta que tiene características similares, en lo concerniente a propiedades mecánicas de suelos, comparados con los suelos observados y registrados para el desplante del Complejo Petroquímico "La Cengrejera".

Lo anterior es en referencia a la zona alta. En lo que concierne a la zona baja, tenemos obras importantes como el Puente Coatzacoalcos y los tanques de almacenamiento en el Complejo Petroquímico Industrial de "Pajaritos", que fueron desplantados con cimentaciones profundas, como lo son: los pilotes, tanto los que son apoyados en estratos resistentes directamente, como los que trabajan por fricción o pilas, y que presentan un buen funcionamiento hasta la fecha.

Dado que no existe un reglamento oficial definido para esta región, se usa para diseño los coeficientes y constantes de los reglamentos ACI, DDF, AISC, UNIFORM BUILDING CODE; así como, los reglamentos en que fueron basados los proyectos de firmas extranjeras, que por lo general recomiendan soluciones demasiado conservadoras.

## PLANTA DE ACETALDEHIDO

### Distribucion de Equipos.

#### I.- EDIFICIO

##### A) Nivel del piso (100 m)

CLAVE	DESCRIPCION	PESO (KG)
E-105	Enfriador tipo placa	4,100
E-201 A	Pre calentador tipo espiral	4,000
E-201 B	Pre calentador tipo espiral	4,000
E-206	Enfriador tipo placa	5,300
F-102	Filtro de Aldehido crudo	600
F-201	Filtro de agua residual	600
F-301	Filtro de catalizador	300
K-101 A	Compresor de recirculación de gas	11,470
K-101 B	Compresor de recirculación de gas	11,470
P-101 A,B	Bombas centrífugas de transferencia de Aldehido crudo	560
P-201 A,B	Bombas centrífugas de transferencia de Acetaldehido	800
P-301	Bombas centrífugas de transferencia catalizador	520
P-302 A,B	Bombas de pistón para HCL	100
P-303	Bomba centrífuga de Aldehido crudo	330
V-101	Tanque separador de recirculación de gas + agua	6,400

**A) Nivel del piso (100 m)**

V-304	Tanque indicador de nivel de HCL	3,500
V-305 A	Recipiente de mezclado de Catalizador	79,600
V-305 B	Recipiente de mezclado de Catalizador	79,600
V-405	Tanque vertical para crotonaldehido	9,400

**B) Nivel 1 (106.5 m)**

C-301	Columna empacada purificadora de HCL	400
E-102	Condensador de Aldehido crudo	7,800
E-104	Enfriador de agua de enfriamiento	1,300
E-205	Enfriador tipo placa de agua de enfriamiento	600
SS-502	Saturador de vapor	1,500
V-104	Recipiente de Aldehido crudo	3,100
V-201	Recipiente de reflujo de Acetaldehido	15,300
V-301 R	Recipiente tipo ciclón separador de Catalizador	18,600
V-306	Recipiente de mezclado de Catalizador con agitador	14,200

**C) Nivel 2 (113.0 m)**

<b>C-302</b>	<b>Columna empacada purificadora de salida de gas</b>	<b>1,900</b>
<b>E-101</b>	<b>Condensador de Acetaldehido crudo</b>	<b>6,500</b>
<b>E-103</b>	<b>Condensador de Acetaldehido crudo</b>	<b>8,500</b>
<b>E-203 A</b>	<b>Condensador de Acetaldehido</b>	<b>22,800</b>
<b>E-203 B</b>	<b>Condensador de Acetaldehido</b>	<b>22,800</b>
<b>E-301</b>	<b>Condensador de gases de salida</b>	<b>1,500</b>
<b>SP-301</b>	<b>Filtro prensa para Catalizador</b>	<b>1,900</b>
<b>V-103</b>	<b>Recipiente de Aldehido crudo</b>	<b>6,000</b>

**II.- EDIFICIO ESTRUCTURAL (REACTO Y DEMISTER)**

**A) Nivel de piso (100 m)**

<b>CLAVE</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>PESO (KG)</b>
P-102	Bomba centrífuga para transferencia de Catalizador	420

**B) Nivel 2 (113.0)**

R-101	Reactor tipo torre	234,000
V-102	Demister (recipiente para Catalizador)	221,000

**C) Nivel 3 (119.5 m)**

C-401	Columna empacada purificadora de gas de salida	1,400
-------	--	-------

**III.- COLUMNAS**

**A) Nivel del piso (100 m)**

<b>CLAVE</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>PESO (KG)</b>
C-101	Columna empacada purificadora de Aldehido crudo	102,000
C-201	Columna empacada y de platos para Acetaldehido	75,500

C-202	Columna empacada y de platos para Acetaldehido	176,100
-------	---	---------

**B) Nivel 3 (119.5 m)**

C-203	Columna empacada de Crotonaldehido	550
E-204	Enfriador de Crotonaldehido	8,800

**C) Nivel 4 (126.0 m)**

E-202	Condensador de Acetaldehido	200
-------	-----------------------------	-----

**IV.- BAJA PRESION (ALMACENAMIENTO DE GASES)**

<b>CLAVE</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>PESO (KG)</b>
V-401	Recipiente de almacenamiento de Nitrógeno	233,300
V-406 A	Tanque de almacén de HC1	69,300
V-406 B	Tanque de almacén de HC1	69,300
V-501	Recipiente compensador de aire de instrumentos	50,600
K-501 A,B	Compresoras de aire	180
SD-501	Unidad de secado de aire de instrumentos	1,500

**V.- ALTA PRESION (ALMACENAMIENTO INTERMEDIO)**

<b>CLAVE</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>PESO (KG)</b>
V-403 A	Tanque de almacenamiento de Acetaldehido.	124,300
V-403 B	Tanque de almacenamiento de Acetaldehido.	124,300
V-402	Tanque para Aldehido crudo	264,300
V-404	Tanque de desperdicios	110,000

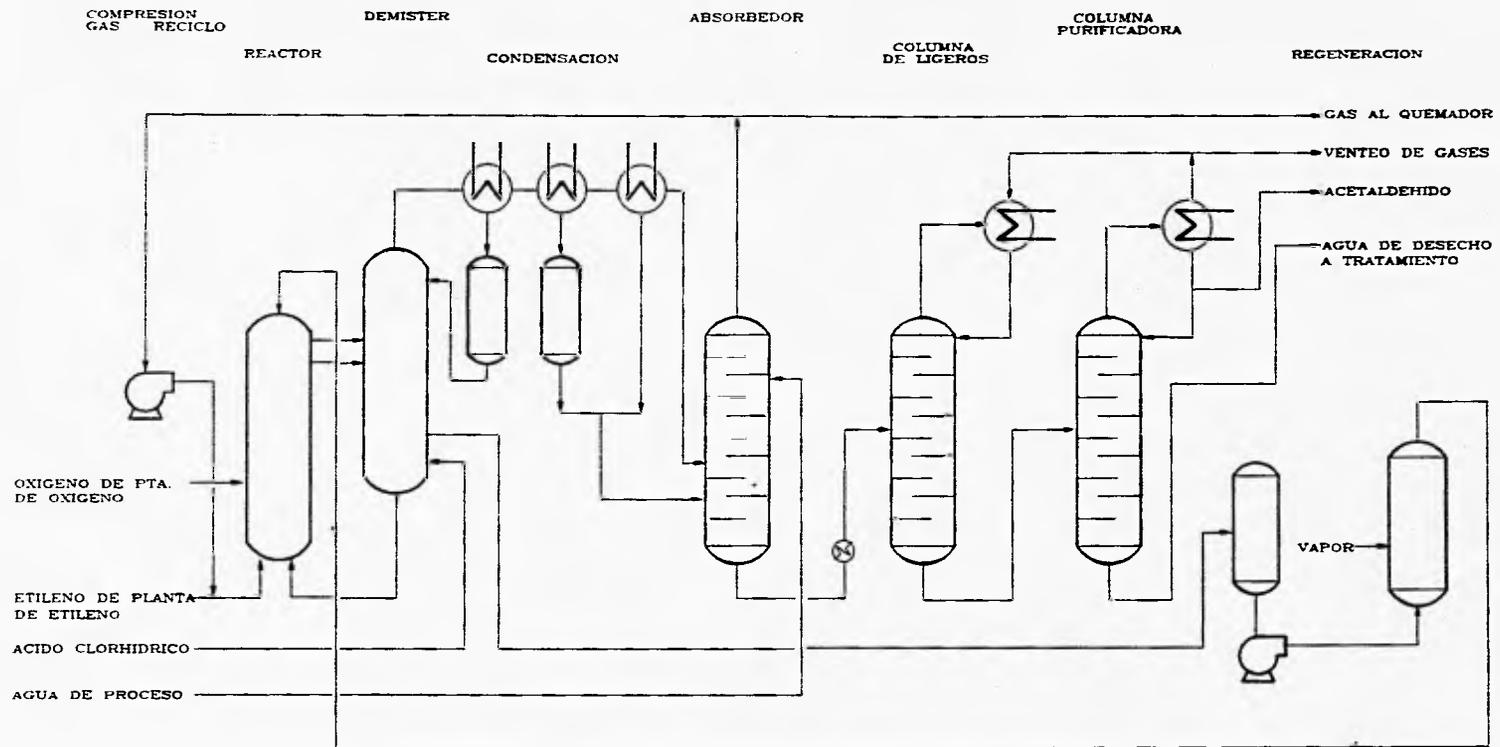
**VI.- OTROS EQUIPOS**

<b>CLAVE</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>PESO (KG)</b>
E-101	Quemador	6,050

La relación anterior muestra la clasificación de los equipos, así como su peso. El valor del peso considera que los recipientes están llenos de agua.

En esta relación no aparecen algunos equipos pequeños debido a su poca importancia de peso, como son algunas bombas centrífugas.

# PLANTA DE ACETALDEHIDO



35

DIAGRAMA DE FLUJO

FIG. III. 1

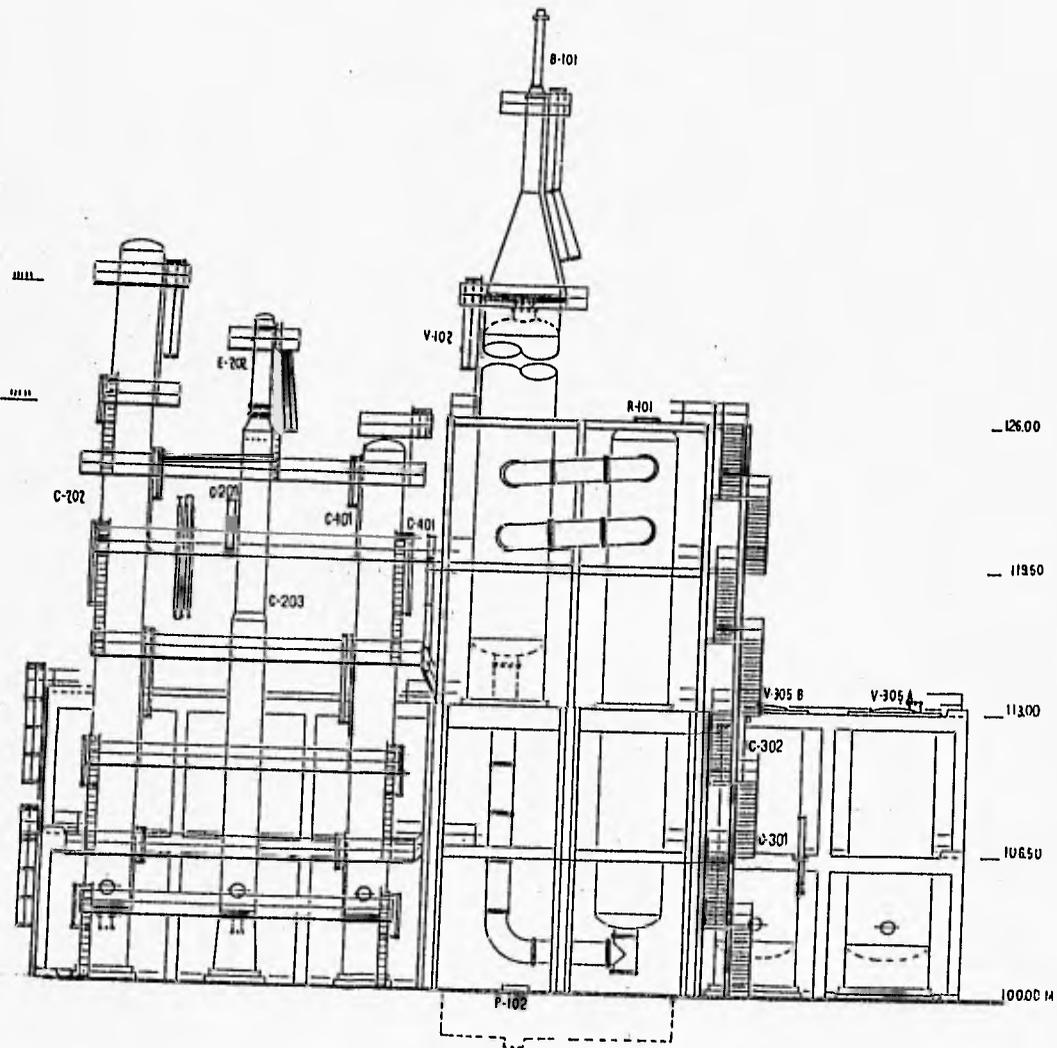


FIG. III.21

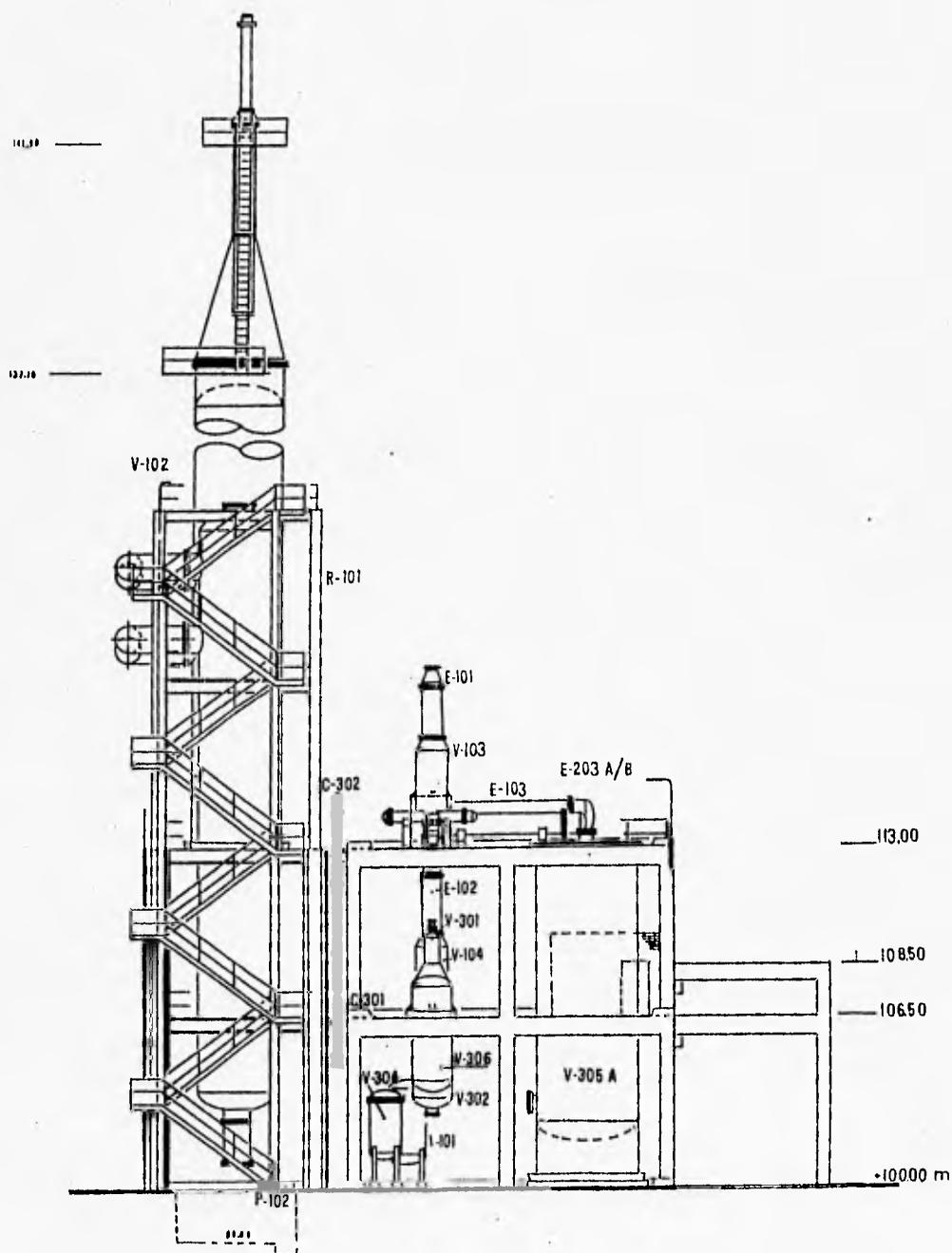
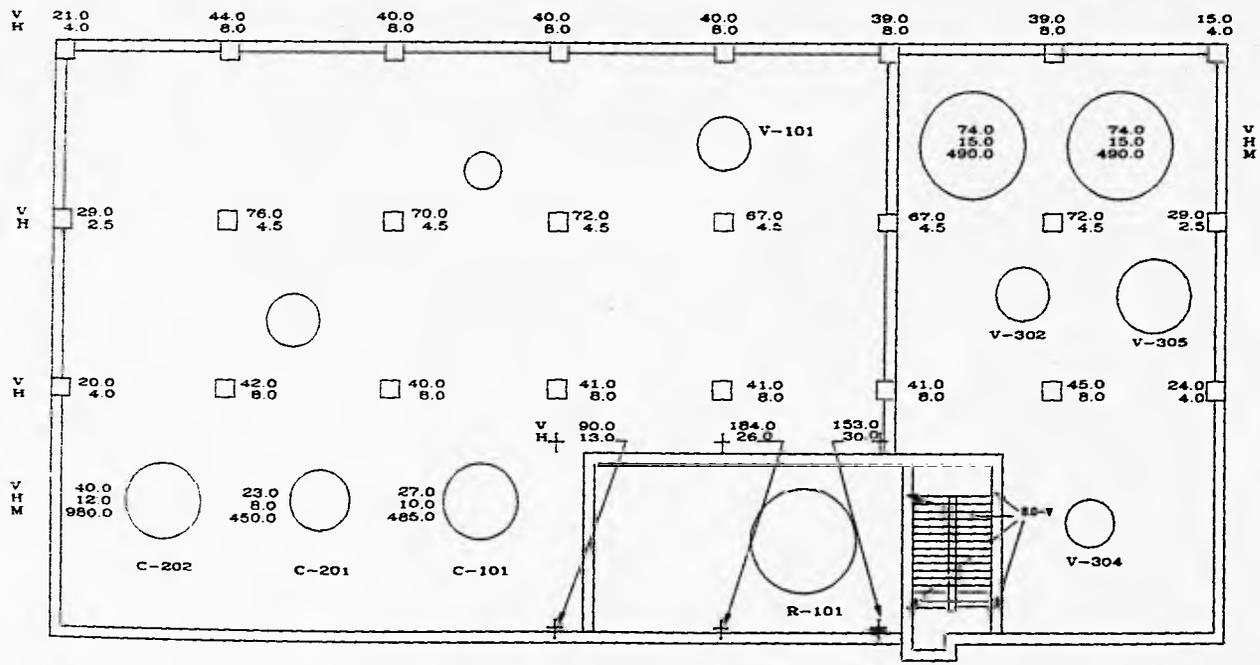
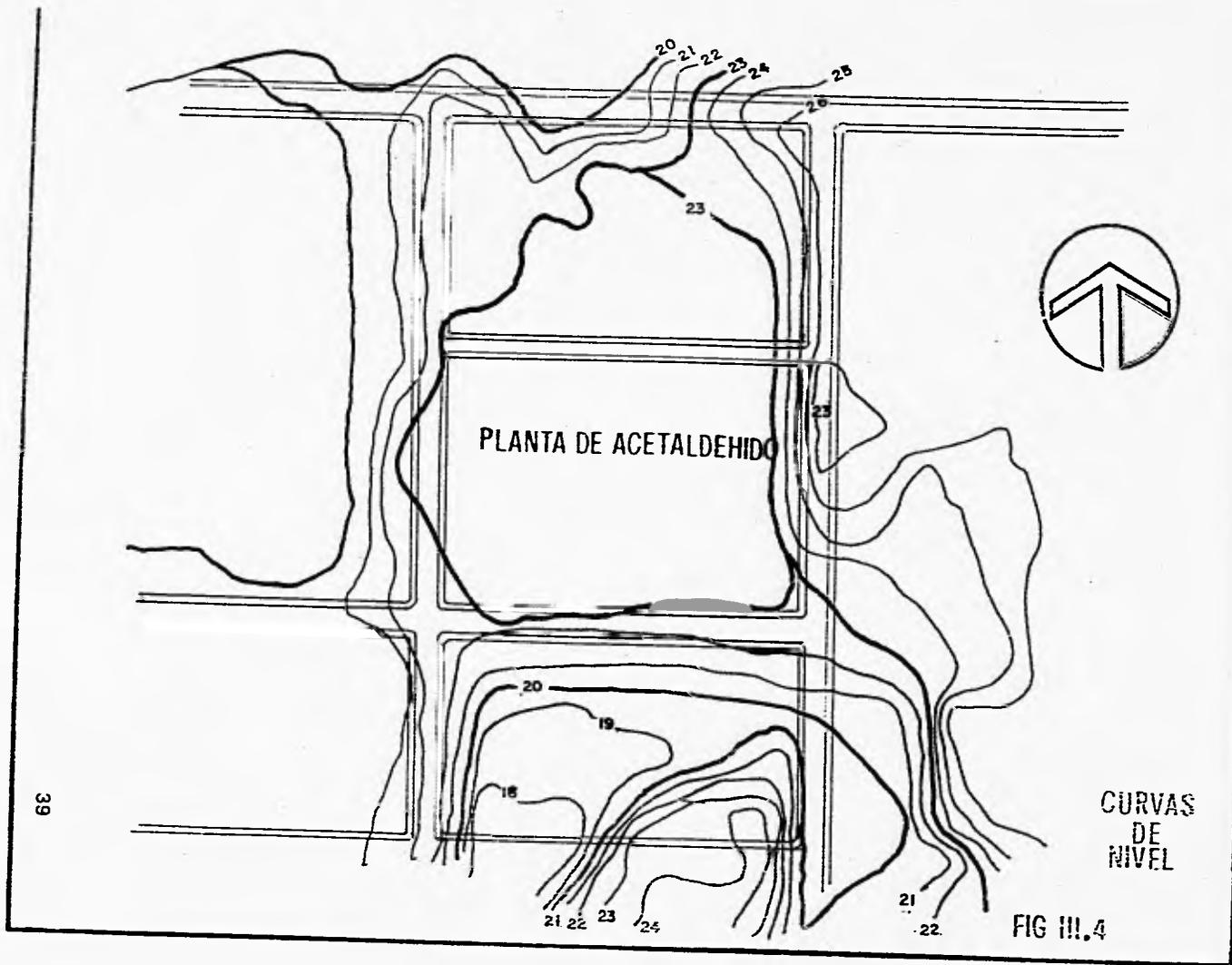


FIG. III.2.2



V CARGA VERTICAL MAXIMA (TON.)  
 H CARGA HORIZONTAL MAXIMA (TON.)  
 M MOMENTO MAXIMO ACTUANTE (T-M)

FIG. III. 3



**III.- EXPLORACION DE CAMPO**

## **EXPLORACION DE CAMPO**

En términos generales, la exploración de campo consta de tres etapas o fases, que dependiendo de la importancia y alcance del estudio son :

- 1.- El reconocimiento superficial del lugar.
- 2.- Exploración preliminar.
- 3.- Exploración detallada que incluye el muestreo.

Dentro del reconocimiento superficial, se encontró que el terreno elegido para alojar el Complejo, se define por terrenos bajos, pantanosos y lomeríos con afloramientos de rocas sedimentarias del Cretácico al Reciente, y particularmente el de la formación " AGUEGUEXQUITE " del Mioceno Superior formada por arcillas ligníticas azul grisáceas que se alteran con arenas arcillosas.

En base a las especificaciones que existen sobre mecánica de suelos, en el aspecto de sondeos, se decidió hacer muestreos de tipo mixto en el área de la planta y zonas perimetrales, para conocer con mayor certeza el subsuelo y poder así, decidir el tipo de cimentación recomendable que cumpla con los requisitos de factibilidad de construcción, económica seguridad de funcionamiento y capacidad de carga.

El muestreo realizado en el área de influencia fue del tipo mixto, es decir, se utilizaron métodos directos e indirectos para definir las propiedades mecánicas del subsuelo. Se realizó el muestreo, alternando la prueba de

penetración estándar con recuperación de muestras alteradas y las muestras inalteradas con tubo Shelby. (Ver Fig. IV.1)

Para estas exploraciones se utilizó un equipo rotario, con un diámetro de exploración de 11.43 cm. (4 1/2 pulgadas), estabilizando la exploración con lodos bentoníticos, ejecutando el muestreo de los suelos a cada metro, alternando la prueba de penetración estándar con las muestras obtenidas por medio del tubo SHELBY.

Fueron siete el número de sondéos, cuyas características generales se localizan en la tabla No. IV.2.1., y en los perfiles IV.2.2 a IV.2.8.

La prueba de penetración estándar se realizó con el equipo que cumple con las características de dimensiones geométricas estándar.

La consistencia de los suelos, se refiere al grado de adherencia entre las partículas del suelo y a la resistencia ofrecida a las fuerzas que tienden a deformar o a romper el agregado del suelo. La consistencia se describe por medio de palabras tales como duro, muy compacto, compacto, medianamente compacto y blando o muy blando. Se presenta una tabla que relaciona la consistencia con su resistencia a la compresión.



capa que se esté muestreando y así poder efectuar los sondeos hasta la profundidad requerida.

En toda la región existen solo sondeos a una profundidad promedio de 30 m, bajo el nivel del terreno, y los más profundos son hasta 200 m, que corresponden a pozos para abastecer agua a las unidades o plantas industriales.

# PLANTA DE ACETALDEHIDO

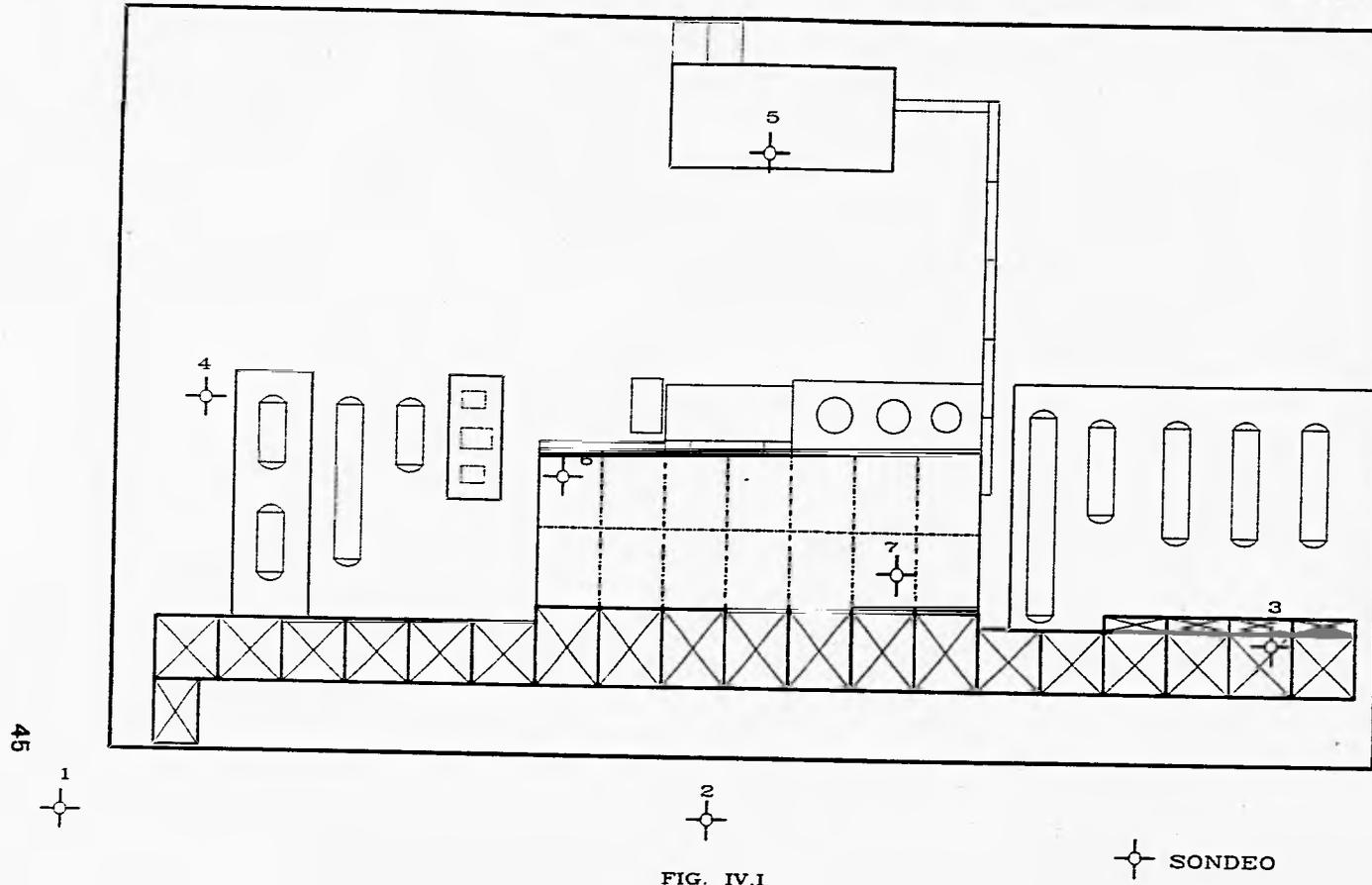


FIG. IV.1

SONDEO No.	TIPO	N.B.S. (m)	PROFUNDIDAD m	N.A.F. (m)	MUESTRAS OBTENIDAS	
					INALTERADAS	ALTERADAS
1	SM	+21.25	30.30	+16.68	3	27
2	SM	+20.66	23.20	+17.66	5	19
3	SM	+25.55	20.24	+19.93	1	18
4	SM	+27.00	26.21	+18.8	4	22
5	SM	+27.43	25.20	+20.13	6	22
6	SM	+26.18	25.24	+18.96	4	22
7	SM	+26.12	23.08	+20.12	2	21

**CUADRO IV.2.1.**

**N.B.S.** Elevación boca sondeo

**N.A.F.** Elevación aguas freáticas

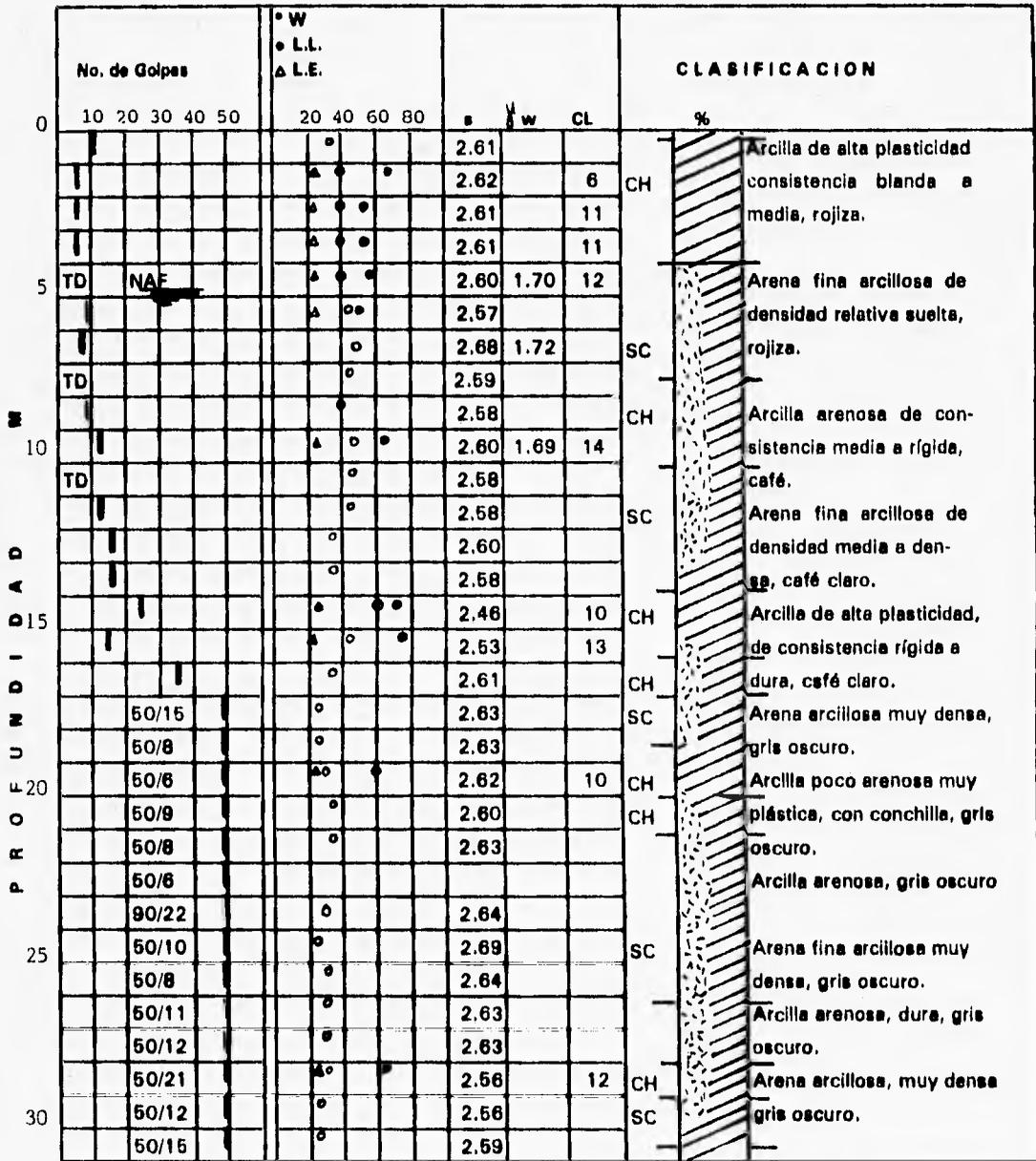


FIG. IV.2.2

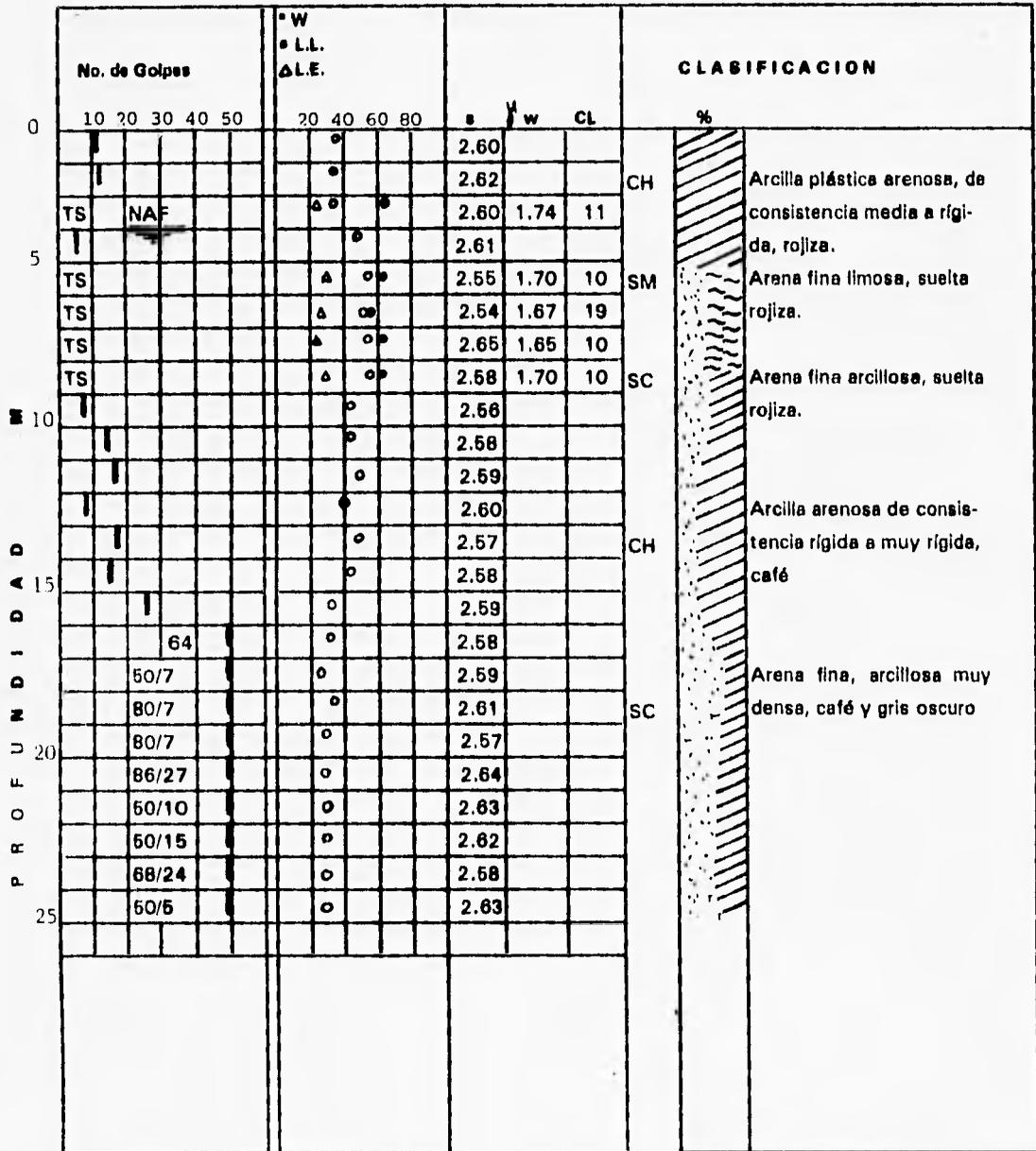


FIG. IV.2.3.

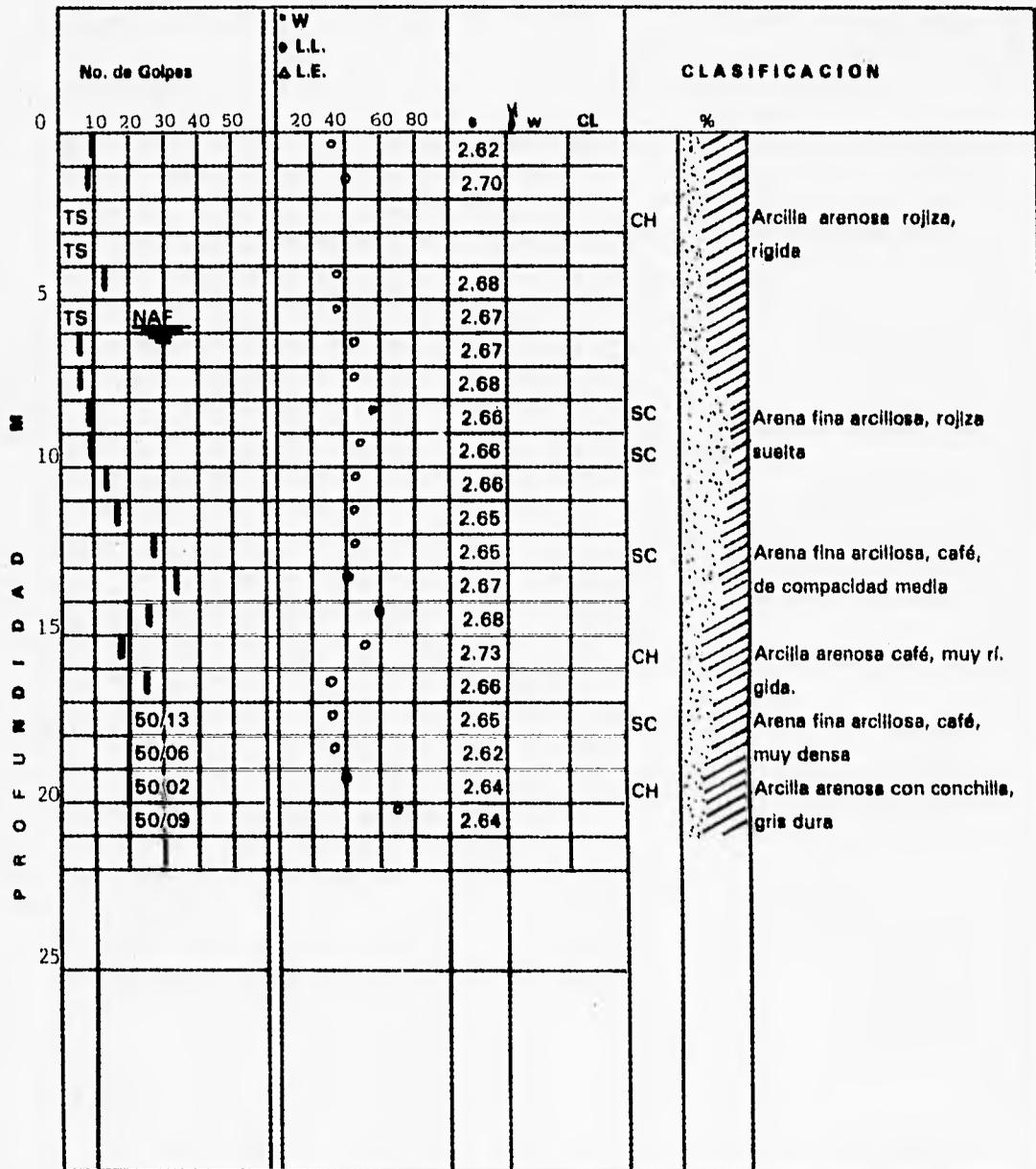


FIG. IV.2.4.

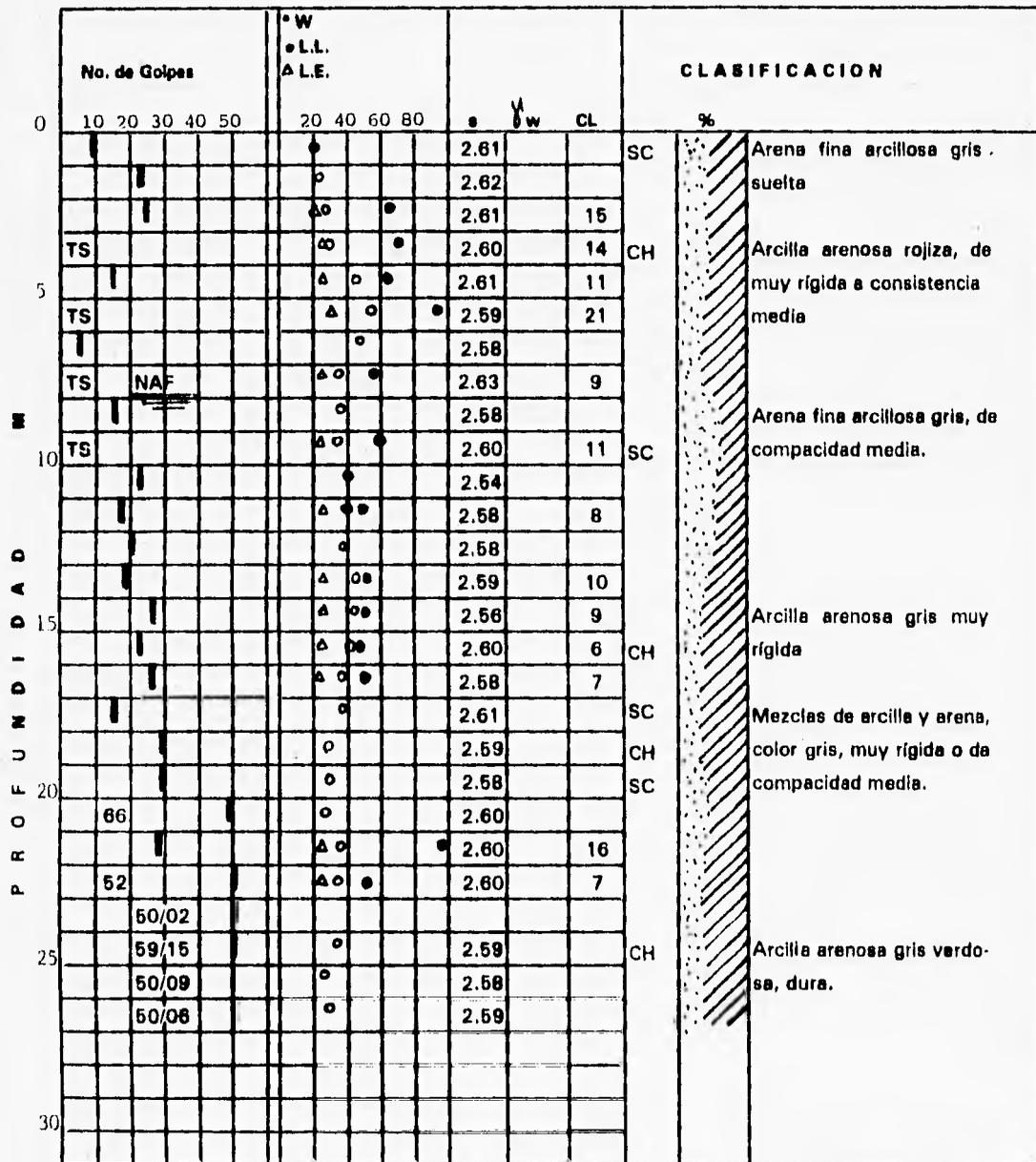


FIG. IV.2.5.

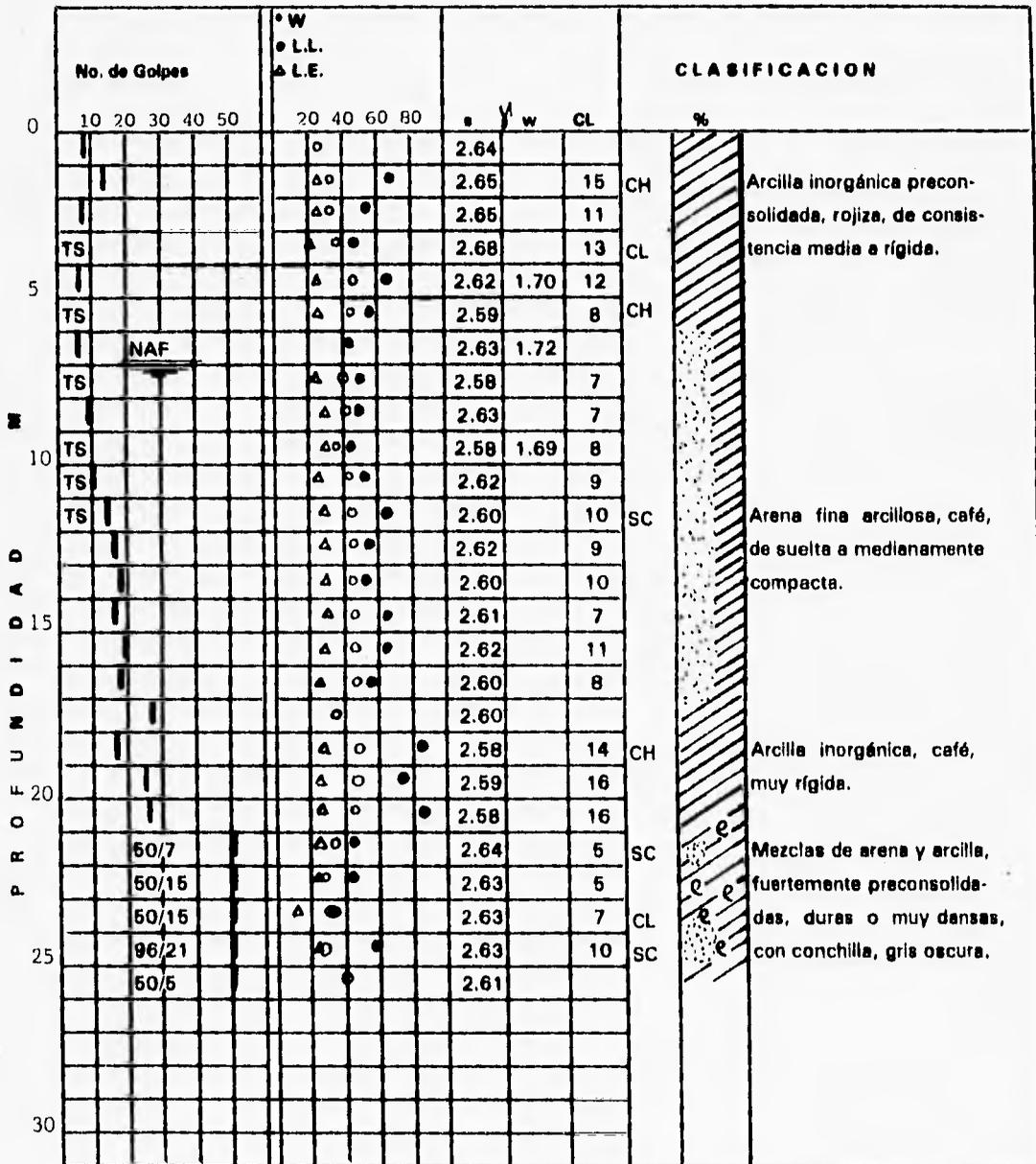


FIG. IV.2.6

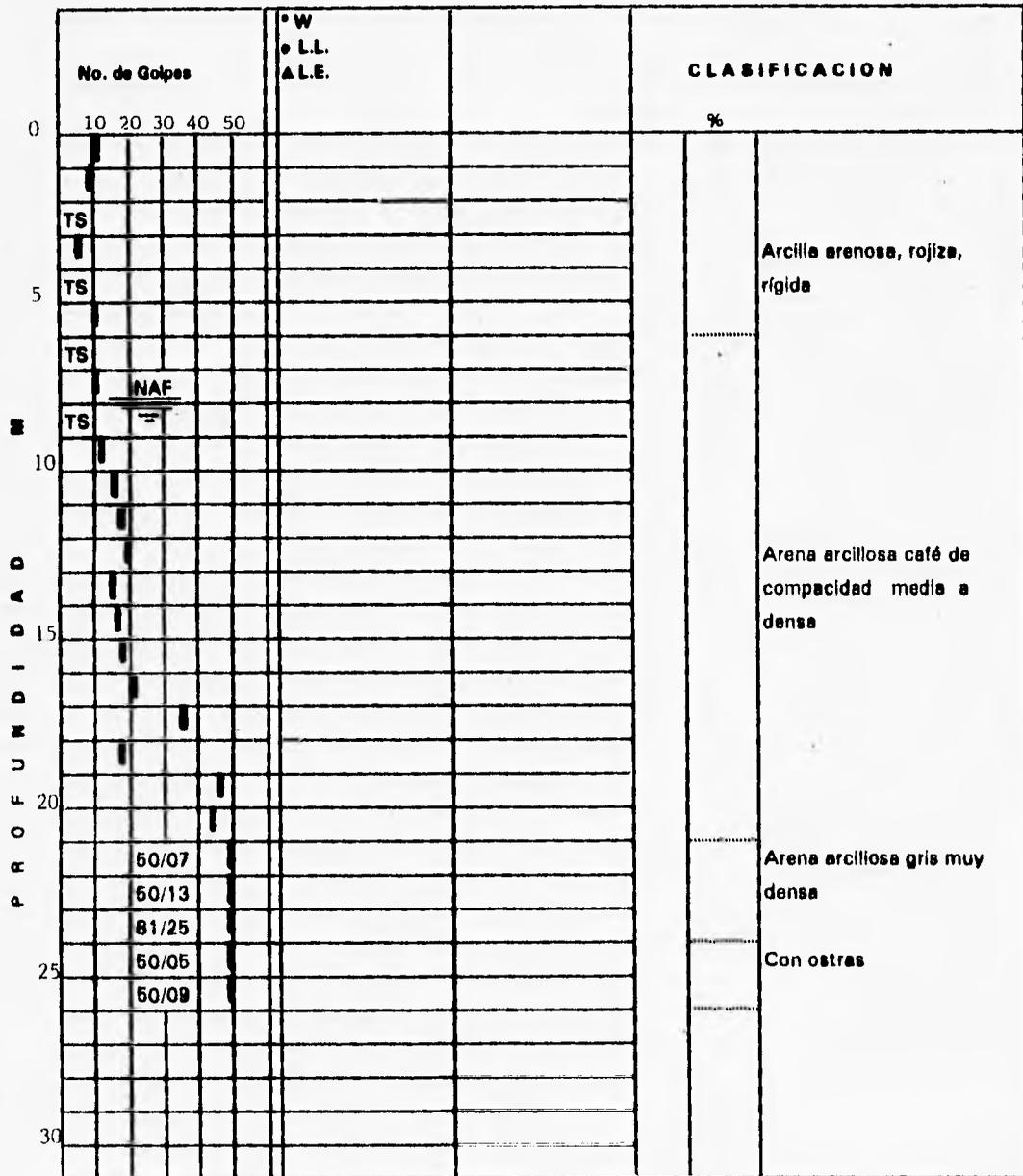


FIG. IV.2.7



**IV.- ENSAYES DE LABORATORIO.**

## **ENSAYES DE LABORATORIO:**

Después de realizar los sondeos y con las pruebas que se efectuaron a los diferentes tipos de suelo, se pueden definir las características del estrato, como son las propiedades de:

**Contenido de agua**

**Límite líquido**

**Índice Plástico**

**Granulometría**

**Peso específico**

Las pruebas que se realizaron en el laboratorio para conseguir una mayor información y realidad de las propiedades del subsuelo, se enumeran a continuación:

**Clasificación de suelos**

**Consolidación unidimensional**

**Compresión simple**

**Lenta**

**Triaxial Rápida**

**Rápida - consolidada**

## **CLASIFICACION DE SUELOS**

La prueba de clasificación de suelos tiene como finalidad definir la estratigrafía del subsuelo, basada en el criterio del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, cuyos resultados se pueden apreciar en los perfiles números IV.2.2 a IV.2.8. en los cuales se describen las características de cada estrato.

Con esta información anterior, que se obtiene de las muestras alteradas, se procedió a efectuar las pruebas mecánicas con las muestras inalteradas.

## **CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL**

Al proceso de disminución del volumen que se presente en un estrato de suelo en un tiempo determinado, debido a un incremento de cargas en el estrato, se le conoce como consolidación.

Esta prueba es necesaria porque en base a sus resultados, se pueden preveer, las deformaciones que puede sufrir un estrato, debido a un cambio en las condiciones de carga.

En la tabla V.1, se presentan los resultados de la prueba de consolidación unidimensional.

## **PRUEBAS TRIAXIALES Y DE COMPRESION SIMPLE.**

Les pruebas triaxiales, suelen considerarse constituidas por dos etapas; La primera es, aquella en la cual se aplica a la muestra los esfuerzos en las tres direcciones, durante esta etapa se puede permitir o no, el drenaje de la muestra.

La segunda etapa, la muestra está sujeta a esfuerzos cortantes, para lo cual se hace variar el esfuerzo axial y se lleva a la falla la muestra.

Normalmente, la segunda etapa se realiza, si la primera fase de la prueba fué drenada.

En cuanto a las pruebas triaxiales tenemos que se divide en dos grandes grupos:

**Pruebas de compresión**

**Pruebas de extensión**

En las pruebas de compresión, la dimensión original axial de la muestra, disminuye respecto a la dimensión transversal, y en las pruebas de extensión, la dimensión axial puede aumentar durante la prueba.

Las pruebas más comunes que existen en la Mecánica de Suelos son:

- Prueba lenta ( L )
- Prueba Rápida - Consolidada ( R )
- Prueba Rápida ( Q )
- Prueba de Compresión Simple (  $q_u$  )

#### **PRUEBA LENTA.-**

Es una prueba con consolidación y con drenaje, es decir su característica fundamental es, que los esfuerzos aplicados a la muestra de suelo son efectivos. La manera de realizar esta prueba es que después de aplicar los esfuerzos de confinamiento a la muestra, se deja el tiempo suficiente a estos esfuerzos, para que el espécimen se drene y quien recibe el incremento de esfuerzo es la parte sólida de la muestra.

El espécimen se lleva a la falla dando pequeños incrementos de carga axial, y dejando el tiempo necesario para que se drene en cada incremento de carga.

#### **PRUEBA RAPIDA - CONSOLIDADA.-**

Es una prueba con Consolidación y sin drenaje. En la primera etapa, se consolida la muestra bajo un esfuerzo axial que al final de la

consolidación es efectivo. En la segunda parte de esta prueba, se evita el drenaje del espécimen y se lleva a la falla bajo un rápido incremento del esfuerzo axial.

#### **PRUEBA RAPIDA.-**

Es una prueba sin consolidación y sin drenaje; aquí el espécimen es sujeto a un esfuerzo hidrostático y de inmediato se lleva el suelo a la falla con la aplicación rápida de la carga axial.

#### **PRUEBA DE COMPRESION SIMPLE.-**

En sí, no es una prueba triaxial; consiste en preparar un espécimen, al cual se le aplican incrementos de carga hasta la falla, sin tener ninguna fuerza de confinamiento lateral.

En general, todas estas pruebas se son aplicadas a los especímenes de suelo en estudio.

Las pruebas de compresión simple, triaxial rápida y la triaxial rápida-drenada, tienen como fin obtener parámetros para evaluar la capacidad que tiene un estrato al esfuerzo cortante, lo cual es necesario debido a la gran cantidad y variedad de estratos del tipo cohesivo; es decir, de arcillas que existen en esta zona.

**Cada una de las pruebas tiene como función prever las respuestas del subsuelo, conforme se presenten las diferentes condiciones de carga y sus duraciones de aplicación.**

**Los resultados de estas pruebas se presentan en las figuras V.3.1. al V.3.16.**

CURVA	PROFUNDIDAD (m)	Wt %	el	LL %	LP %	Pc kg/cm <sup>2</sup>
1	6.00 - 6.60	58.71	1.646	62	23	1.810
2	7.00 - 7.60	56.71	1.582	63	27	1.815
3	4.00 - 4.60	55.34	1.485	61	34	1.780
4	5.00 - 5.60	55.42	1.468	56	33	1.790

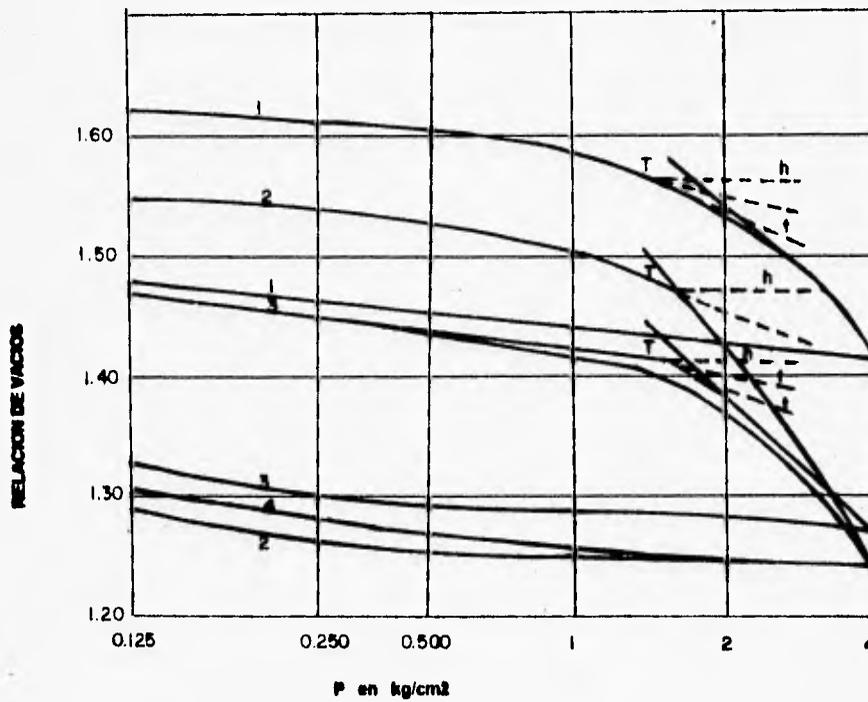
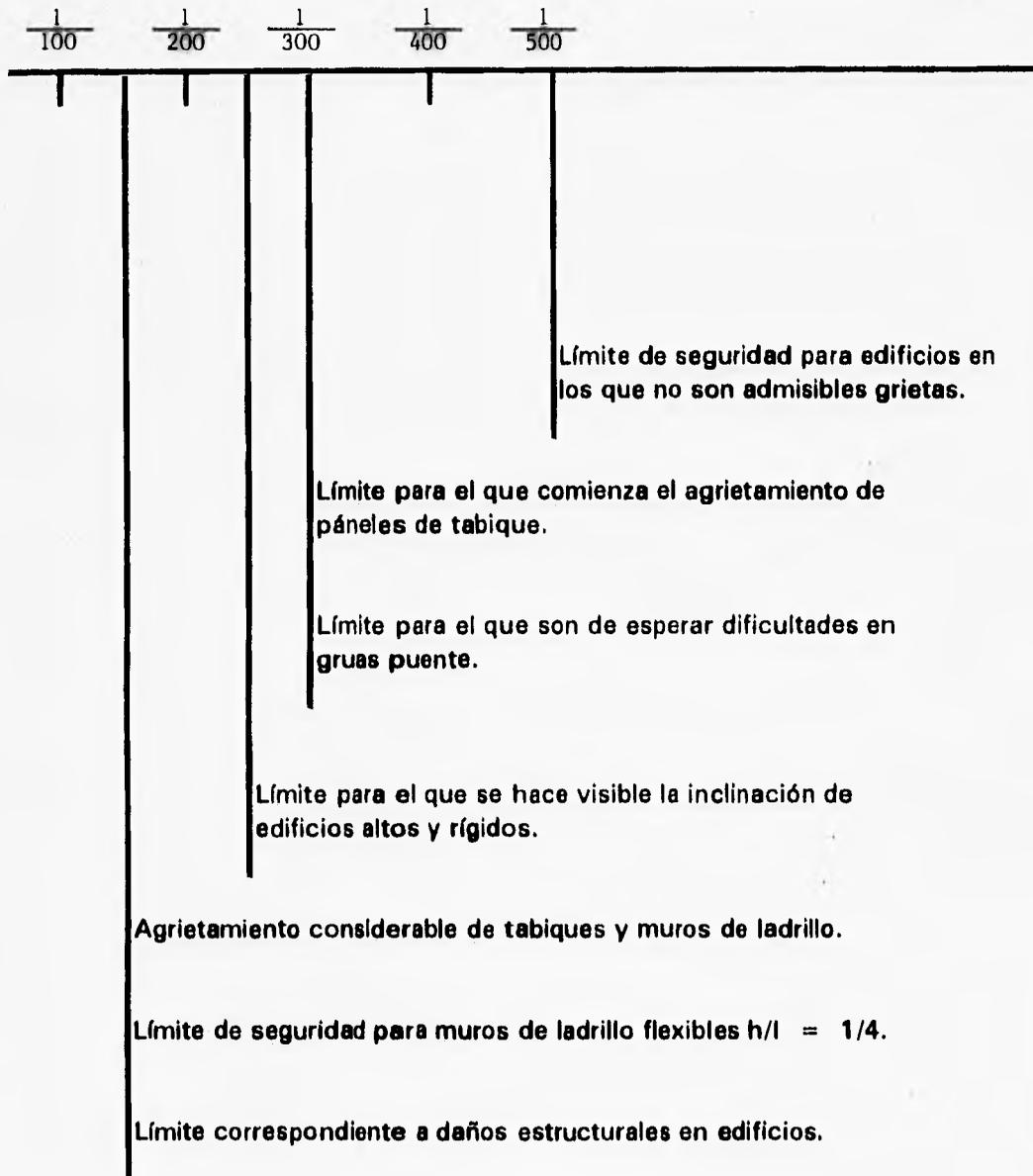


FIG. V.1



***DISTORSIONES ANGULARES***

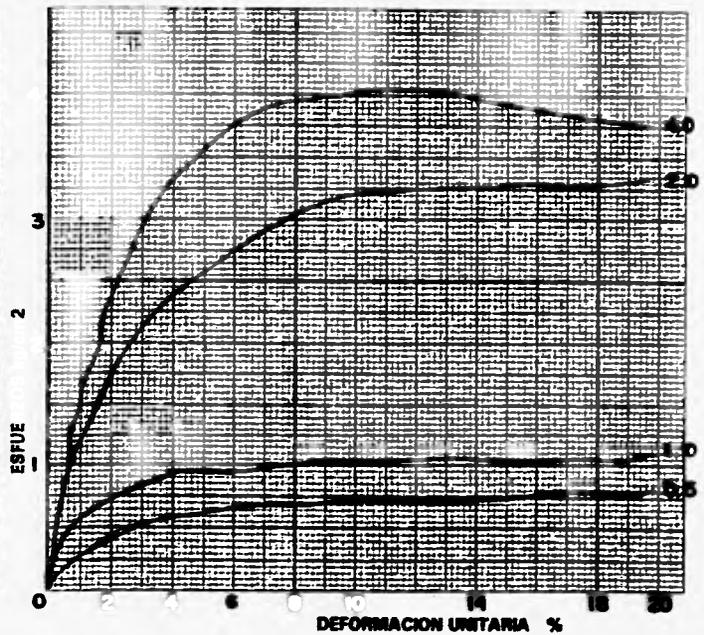
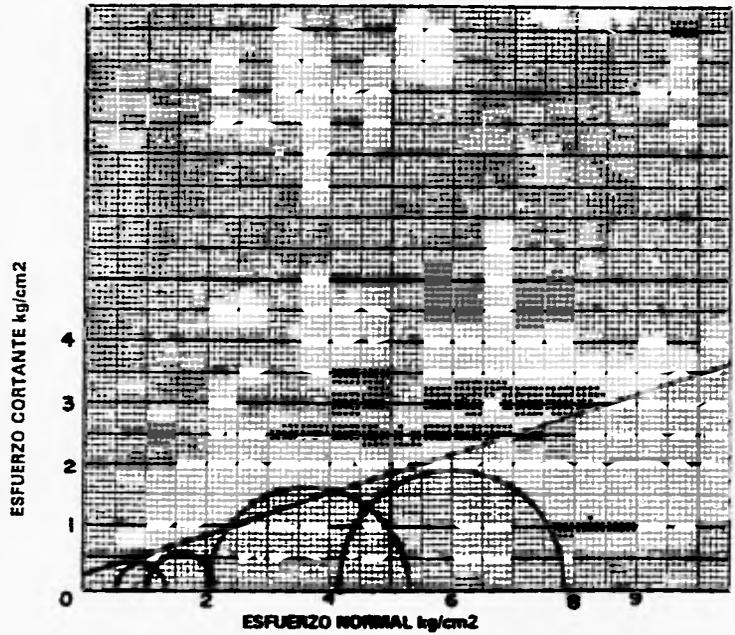
***FIG. V.2***

RAPIDA  CONSOLIDADA RAPIDA  LENTA

PRUEBA	W <sub>i</sub>	W <sub>T</sub>	e <sub>r</sub>	e <sub>f</sub>	G <sub>r</sub>	G <sub>f</sub>	σ <sub>3</sub>	σ <sub>1</sub> -σ <sub>3</sub>	δ n	PARAMETROS DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE
No	%	%			%	%	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	1/m <sup>3</sup>	
1	48.71		1.245		100.00		0.500	0.821	1.723	$\phi = 18^\circ$ $C = 2.5 \text{ T/m}^2$
2	49.74		1.289		100.00		1.000	1.078	1.701	
3	41.71		1.159		93.54		2.000	3.291	1.706	
4	40.20		1.071		97.62		4.000	3.978	1.760	

SONDEO: 1 PROF. 4.00-4.00 BL.

DESCRIPCIÓN: ARENA FINA CON LIMO DE COLOR  
CAFE ROJOZO



59

FIG. V.3.1

RAPIDA  CONSOLIDADA RAPIDA  LENTA

PRUEBA	W <sub>i</sub>	W <sub>f</sub>	e <sub>i</sub>	e <sub>f</sub>	G <sub>i</sub>	G <sub>f</sub>	$\bar{\sigma}_3$	$\bar{\sigma}_1 - \bar{\sigma}_3$	$\delta' h$	PARAMETROS DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE
No.	%	%			%	%	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	t/m <sup>3</sup>	
1	43.71		1.167		99.10		0.500	0.749	1.770	$\phi = 9^\circ$  $C = 2.5 \text{ T/m}^2$
2	50.30		1.319		100.00		1.000	1.244	1.738	
3	50.88		1.363		100.00		2.000	1.668	1.712	
4	50.70		1.344		100.00		4.000	1.706	1.723	

SONDEO: 1 \_\_\_\_\_ PROF. 6.00-6.80 M.

DESCRIPCIÓN: \_\_\_\_\_

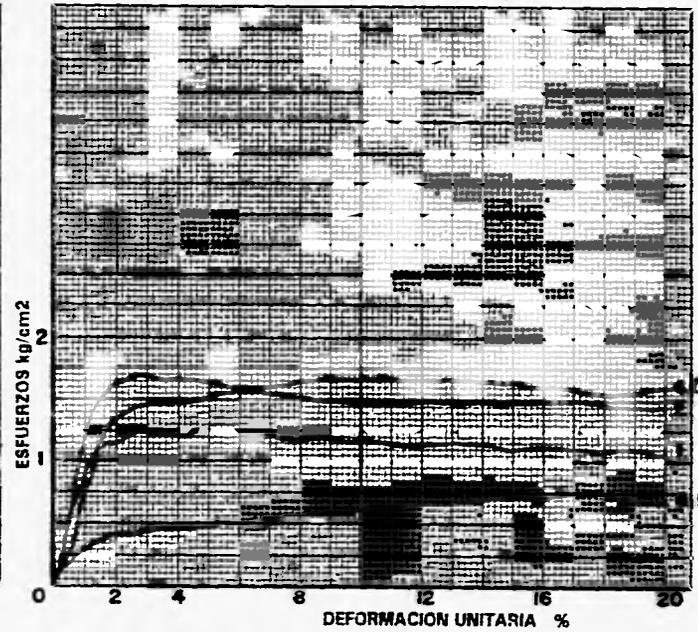
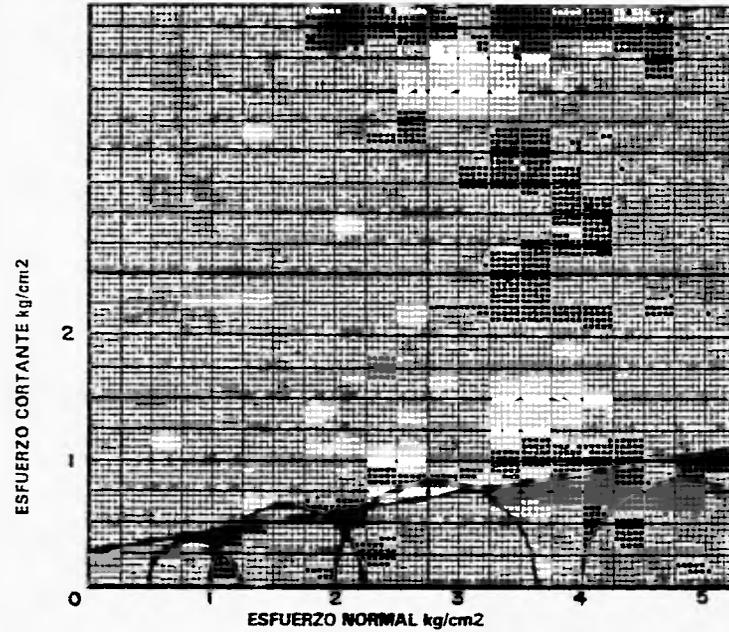


FIG. V.3.2

RAPIDA  CONSOLIDADA RAPIDA  LENTA

PRUEBA No	W <sub>i</sub>	W <sub>f</sub>	e <sub>s</sub>	e <sub>f</sub>	G <sub>i</sub>	G <sub>f</sub>	σ <sub>1</sub>	σ <sub>1</sub> -σ <sub>3</sub>	γ <sub>h</sub>	PARAMETROS DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE
	%	%			%	%	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	t/m <sup>3</sup>	
1	43.21		1.195		93.66		0.500	1.421	1.690	$\phi = 8^\circ$ $C = 6 \text{ T/m}^2$
2	52.64		1.320		100.00		1.000	1.401	1.717	
3	51.50		1.350		99.19		2.000	1.888	1.576	
4	49.39		1.238		100.00		4.000	4.059	1.723	

SONDEO: 1 PROF. 9.00-9.80 M.

DESCRIPCIÓN:

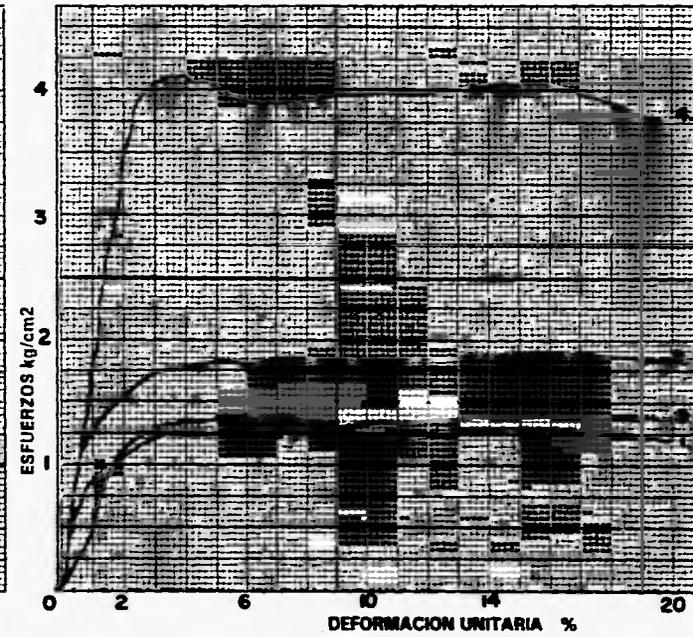
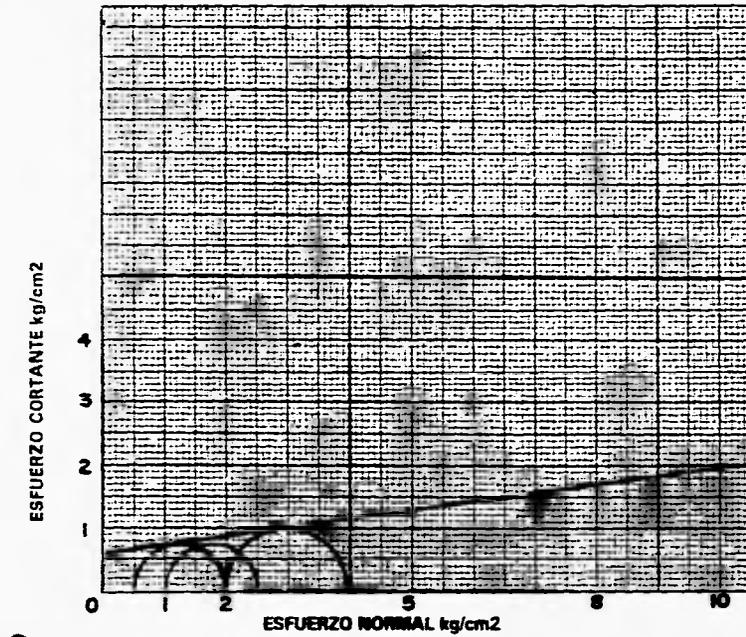


FIG. V.3.3

RAPIDA  CONSOLIDADA RAPIDA  LENTA

PRUEBA	W <sub>i</sub>	W <sub>f</sub>	e <sub>i</sub>	e <sub>f</sub>	G <sub>r</sub>	G <sub>f</sub>	$\sigma_3$	$\sigma_1 - \sigma_3$	$\sigma_1$	$\sigma_3$	h	PARAMETROS DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE
No	%	%			%	%	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	cm	
1	42.52		1.218		90.76		0.0	1.010	1.671			$q_u = 10 \text{ T/m}^2$
2	38.97		1.194		87.81			1.198	1.678			
3												
4												

SONDEO: 2 PROF: 2.00-2.39 M.

DESCRIPCIÓN: LIMO ARENOSO CON ARCILLA DE COLOR  
GRIS VERDOSO

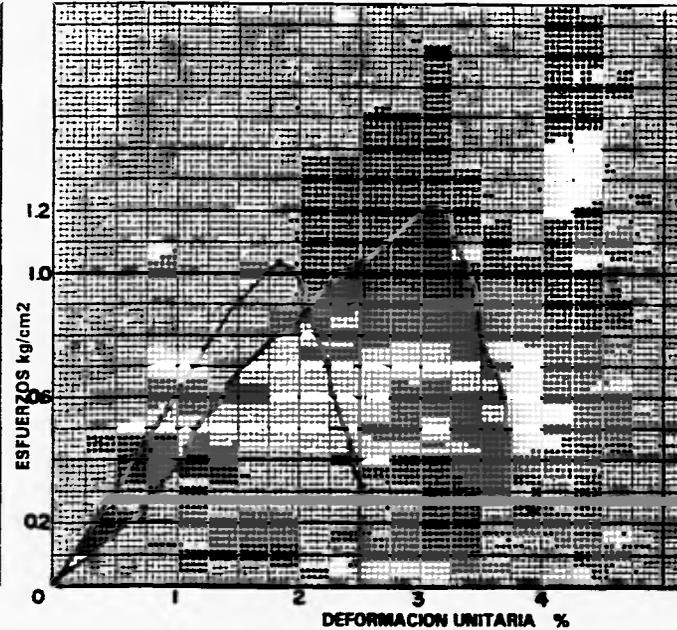
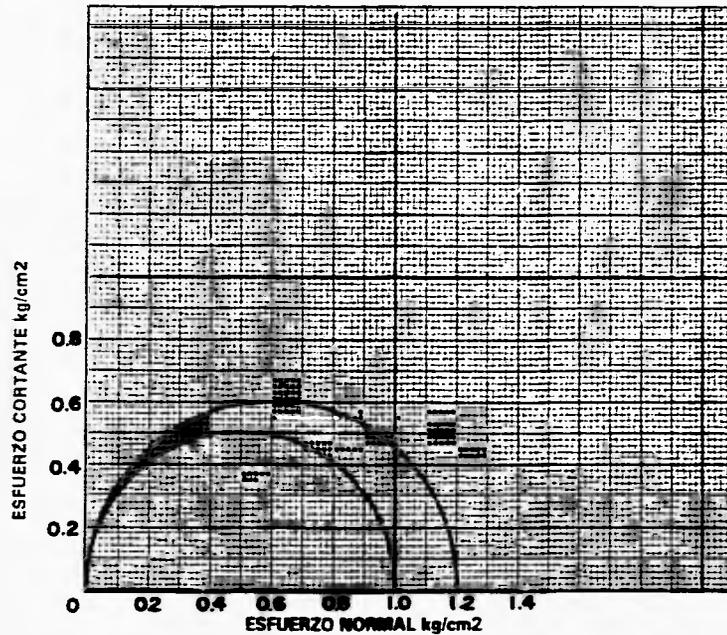


FIG. V.3.4

RAPIDA  CONSOLIDADA RAPIDA  LENTA

PRUEBA	W <sub>h</sub>	W <sub>t</sub>	e <sub>s</sub>	e <sub>f</sub>	G <sub>i</sub>	G <sub>f</sub>	σ <sub>3</sub>	σ <sub>1</sub> -σ <sub>3</sub>	δ'h	PARAMETROS DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE
No	%	%			%	%	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	t/m <sup>3</sup>	
1	38.70	39.97	1.083	1.175	92.55	100.00	0.500	1.729	1.725	$\phi = 23^\circ$  $C = 4 \text{ T/m}^2$
2	38.17	39.57	1.025	1.078	97.17	100.00	1.000	2.490	1.781	
3	37.33	37.81	1.057	0.992	92.15	100.00	2.000	3.651	1.742	
4	34.65	34.02	0.935	0.972	95.59	100.00	4.000	4.576	1.795	

SONDEO: 2 PROF. 2.89-2.39 M.

DESCRIPCIÓN: LIMO ARENOSO CON ARCILLA DE COLOR GRIS VERDOSO

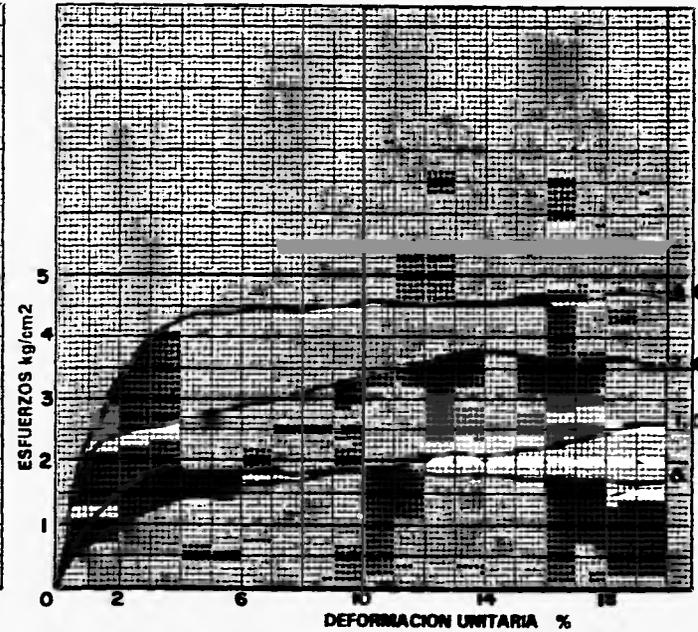
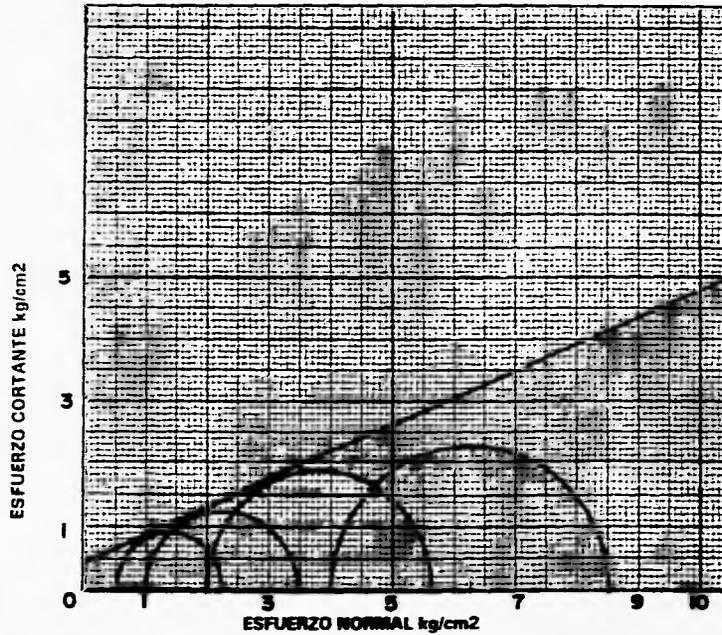


FIG. V.3.5

RAPIDA  CONSOLIDADA RAPIDA  LENTA

PRUEBA No	Wl	Wf	e <sub>i</sub>	e <sub>f</sub>	G <sub>i</sub>	G <sub>f</sub>	∫ <sub>s</sub>	∫ <sub>i</sub> -∫ <sub>f</sub>	γ <sub>h</sub>	PARAMETROS DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE
	%	%			%	%	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	t/m <sup>3</sup>	
1	52.65		1.293		100.00			0.558	1.698	qu = 5.5 T/m <sup>2</sup>
2	53.63		1.299		100.00			0.559	1.704	
3										
4										

SONDEO: 2 PROF. 4.00-4.60 M.

DESCRIPCIÓN: ARENA FINA LIMOSA DE COLOR CAFE

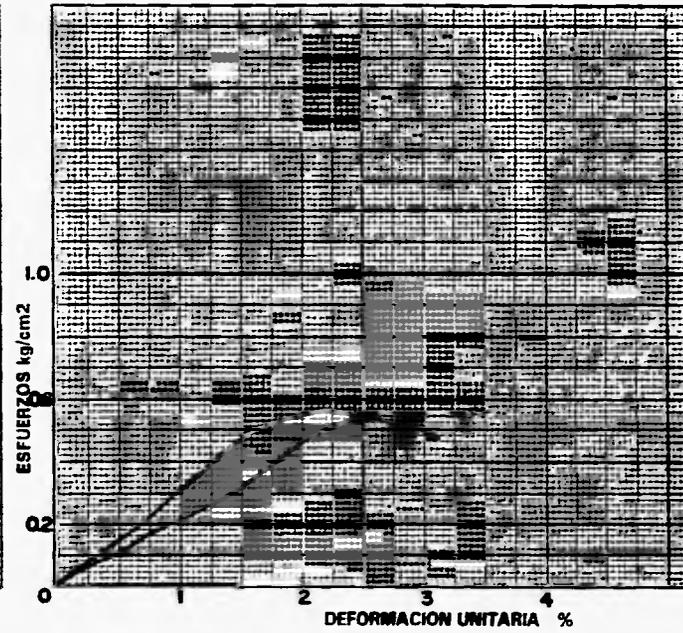
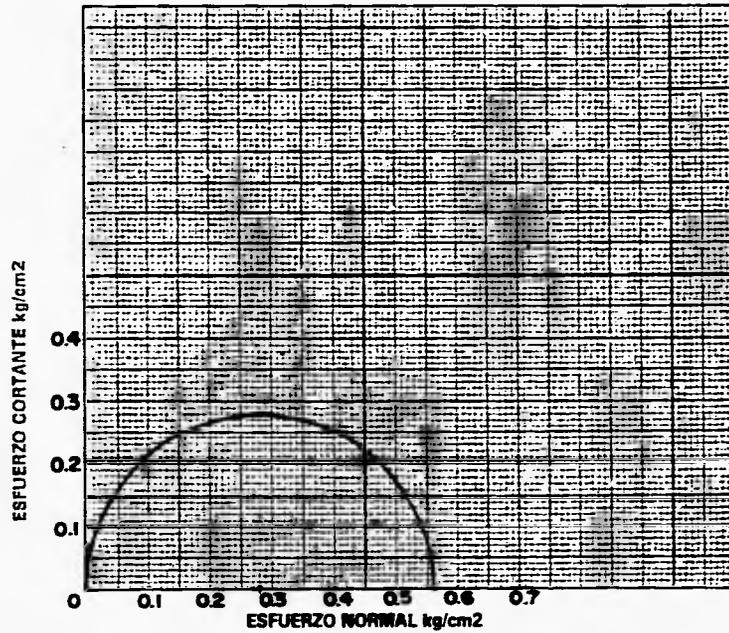


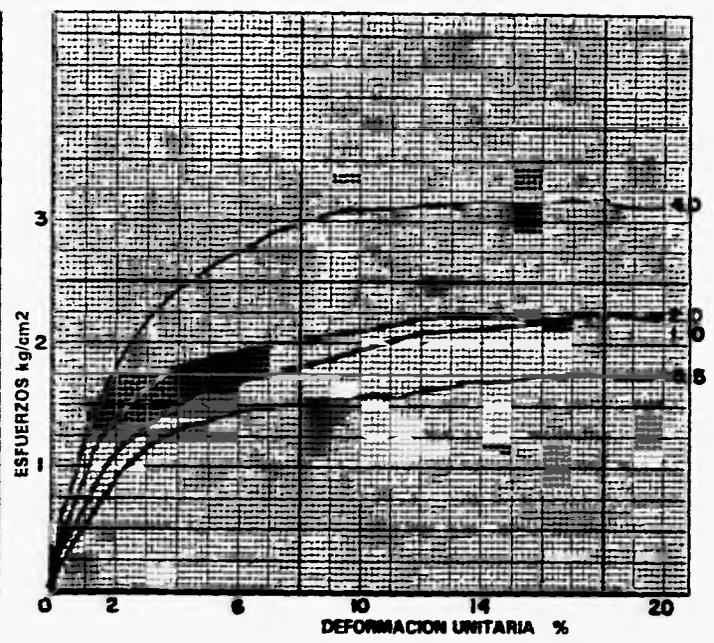
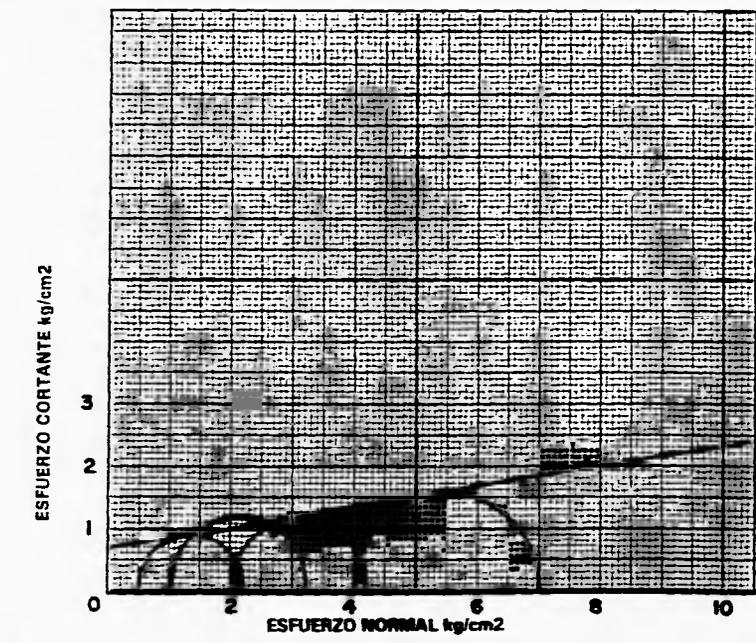
FIG. V.3.6

RAPIDA  CONSOLIDADA RAPIDA  LENTA

PRUEBA No	W <sub>i</sub> %	W <sub>f</sub> %	e <sub>i</sub>	e <sub>f</sub>	G <sub>i</sub> %	G <sub>f</sub> %	$\bar{\sigma}_3$ kg/cm <sup>2</sup>	$\bar{\sigma}_1 - \bar{\sigma}_3$ kg/cm <sup>2</sup>	$\bar{\sigma}_h$ t/m <sup>3</sup>	PARAMETROS DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE
1	52.84		1.282		100.00		0.500	1.767	1.708	$\phi' = 9^\circ$ $C = 6.5 \text{ T/m}^2$
2	53.62		1.269		100.00		1.000	2.242	1.726	
3	53.33		1.293		100.00		2.000	2.222	1.705	
4	53.85		1.319		100.00		4.000	3.135	1.692	

SONDEO: 2 PROF. 4.00-4.60 ML

DESCRIPCIÓN: ARENA FINA LIMOSA DE COLOR CAFE



69

FIG. V.3.7

RAPIDA  CONSOLIDADA RAPIDA  LENTA

PRUEBA No	W <sub>i</sub>	W <sub>f</sub>	e <sub>i</sub>	e <sub>f</sub>	G <sub>r</sub>	G <sub>f</sub>	$f'_{3}$	$\bar{\sigma}_1 - \bar{\sigma}_3$	$\delta' h$	PARAMETROS DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE
	%	%			%	%	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	U/m <sup>3</sup>	
1	53.10		1.306		100.00		0.0	0.763	1.687	qu = 7.5 T/m <sup>2</sup>
2	54.05		1.340		100.00		0.0	1.113	1.672	
3										
4										

SONDEO: 2 PROF. 5.80-5.80 ML

DESCRIPCIÓN: ARENA FINA LIMOSA

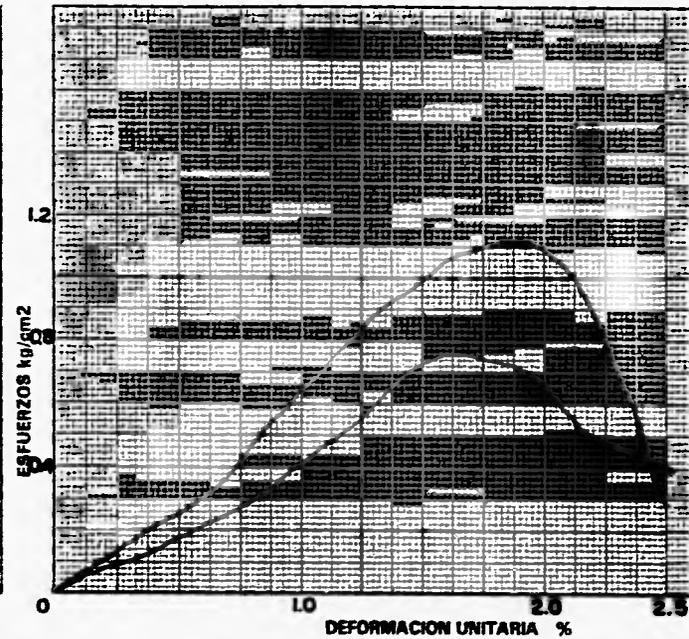
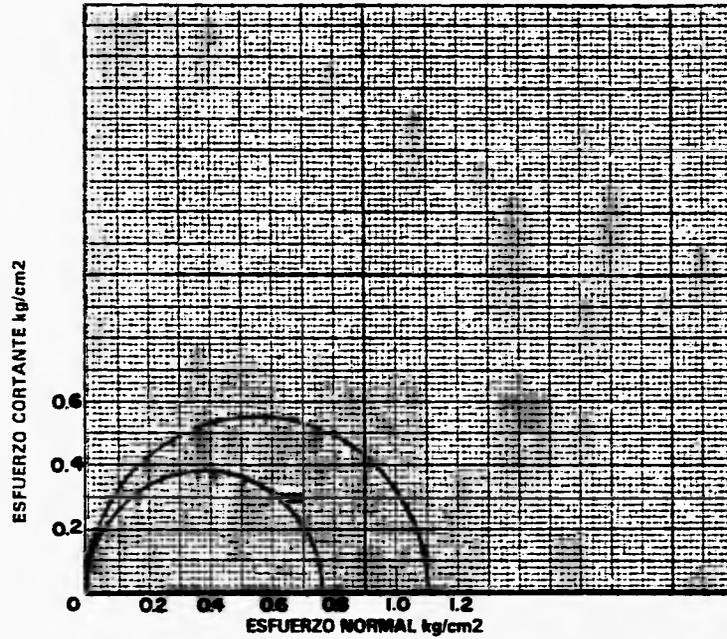


FIG. V.3.8

RAPIDA  CONSOLIDADA RAPIDA  LENTA

PRUEBA No	W <sub>i</sub>	W <sub>T</sub>	e <sub>i</sub>	e <sub>f</sub>	G <sub>i</sub>	G <sub>f</sub>	$\bar{\sigma}_3$	$\bar{\sigma}_1 - \bar{\sigma}_3$	$\delta' h$	PARAMETROS DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE
	%	%			%	%	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	t/m <sup>3</sup>	
1	54.35	53.59	1.342	1.423	100.00	100.00	0.500	1.448	1.673	$\phi = 12^\circ$  $C = 6 \text{ T/m}^2$
2	55.04	53.40	1.371	1.412	100.00	100.00	1.000	1.955	1.654	
3	55.54	56.59	1.415	1.407	100.00	100.00	2.000	2.526	1.642	
4	54.37	48.94	1.351	1.336	100.00	100.00	4.000	3.228	1.674	

SONDEO: 2 PROF. 5.00-5.60 BL.

DESCRIPCIÓN: ARENA FINA LIMOSA

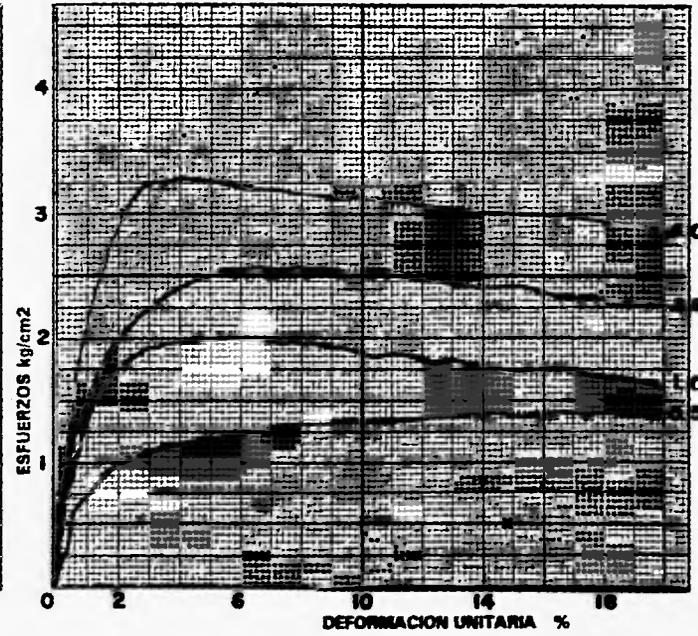
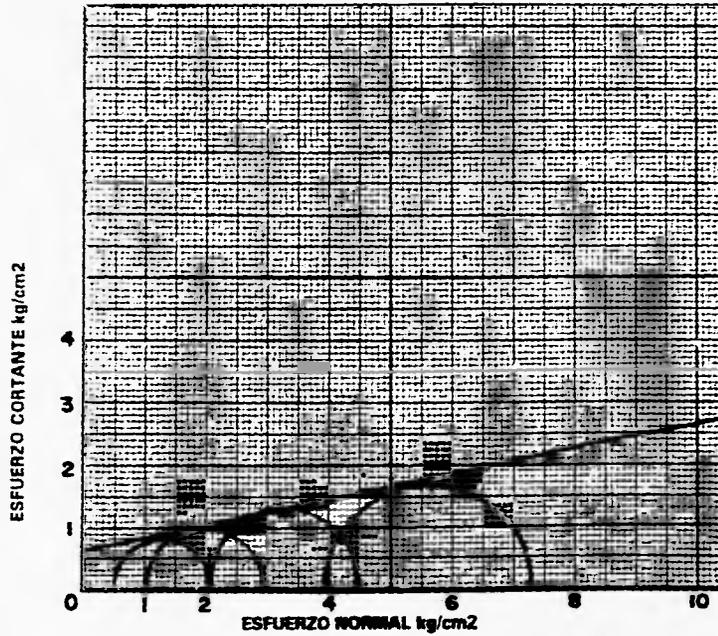


FIG. V.3.9

RAPIDA  CONSOLIDADA RAPIDA  LENTA

PRUEBA	W <sub>i</sub>	W <sub>f</sub>	e <sub>i</sub>	e <sub>f</sub>	G <sub>i</sub>	G <sub>f</sub>	$\bar{\sigma}_z$	$\bar{\sigma}_1 - \bar{\sigma}_3$	$\gamma^n$	PARAMETROS DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE
No	%	%			%	%	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	t/m <sup>3</sup>	
1	52.55		1.442		96.58		0.0	1.342	1.658	qu = 12 T/m <sup>2</sup>
2	51.45		1.381		98.74		0.0	1.191	1.681	
3										
4										

SONDEO: 2 PROF. 6.00-6.60 M.

DESCRIPCIÓN: ARENA FINA LIMOSA CON ARCILLA DE COLOR GRIS CLARO

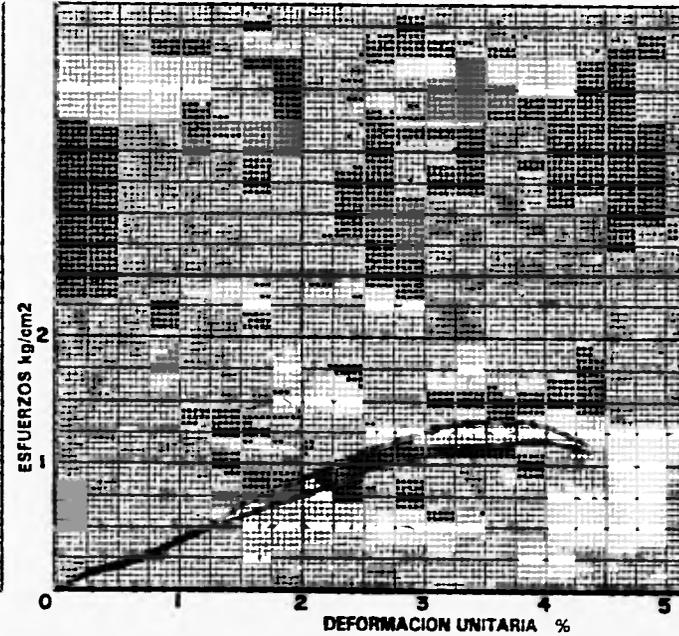
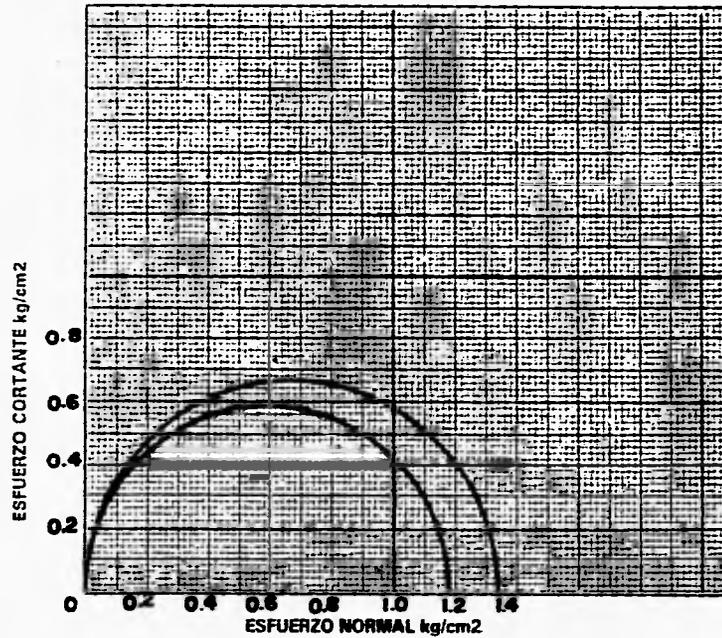


FIG. V.3.10

RAPIDA  CONSOLIDADA RAPIDA  LENTA

PRUEBA	W <sub>i</sub>	W <sub>f</sub>	e <sub>i</sub>	e <sub>f</sub>	G <sub>i</sub>	G <sub>f</sub>	σ <sub>3</sub>	σ <sub>1</sub> - σ <sub>3</sub>	σ <sub>1</sub> h	PARAMETROS DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE
No	%	%			%	%	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	t/m <sup>3</sup>	
1	50.43	49.97	1.405	1.393	94.79	100.00	0.500	1.730	1.652	$\phi = 14^\circ$ $C = 5.5 \text{ T/m}^2$
2	55.69	54.30	1.530	1.531	96.45	100.00	1.000	2.004	1.631	
3	55.47	52.26	1.494	1.507	98.78	100.00	2.000	2.209	1.658	
4	56.96	48.35	1.527	1.445	98.85	100.00	4.000	3.910	1.646	

SONDEO: 2 PROF. 6.89-6.60 M.

DESCRIPCIÓN: ARENA FINA LIMBA CON ARCILLA DE COLOR GRIS CLARO

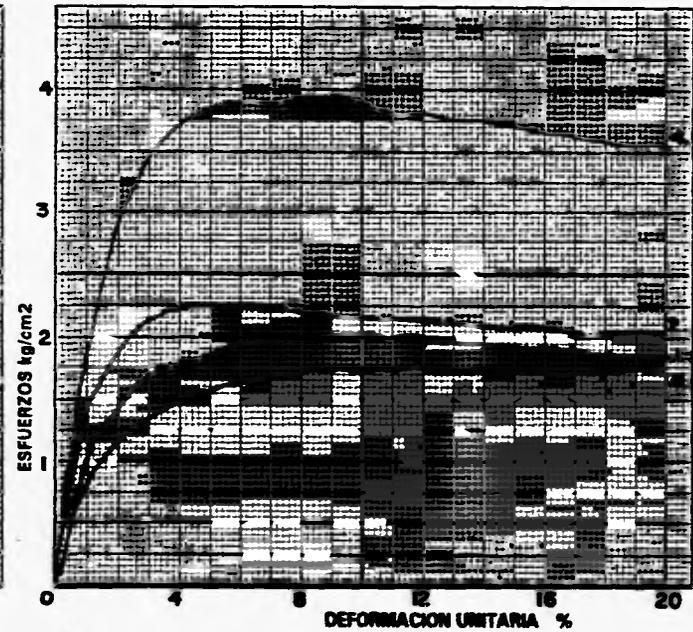
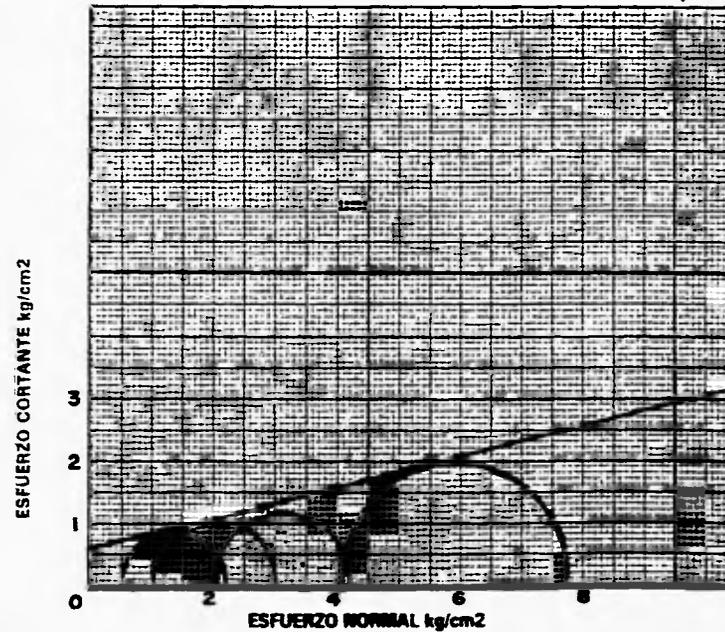


FIG. V.3.11

RAPIDA  CONSOLIDADA RAPIDA  LENTA

PRUEBA No	W <sub>i</sub>	W <sub>f</sub>	e <sub>i</sub>	e <sub>f</sub>	G <sub>i</sub>	G <sub>f</sub>	$\bar{\sigma}_3$	$\bar{\sigma}_1 - \bar{\sigma}_3$	$\delta^*h$	PARAMETROS DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE
	%	%			%	%	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	t/m <sup>3</sup>	
1	55.57	54.42	1.368	1.338	100.00	100.00	0.500	1.608	1.695	$\phi' = 11^\circ$ $C = 6 \text{ T/m}^2$
2	55.57	52.48	1.343	1.263	100.00	100.00	1.000	2.021	1.700	
3	54.45	49.61	1.340	1.340	100.00	96.29	2.000	2.389	1.716	
4	54.75	45.09	1.352	1.103	100.00	100.00	4.000	4.768	1.697	

SONDEO: 2 PROF: 7.98-7.99 M.

DESCRIPCIÓN: ARENA LIMOSA DE COLOR CAFE

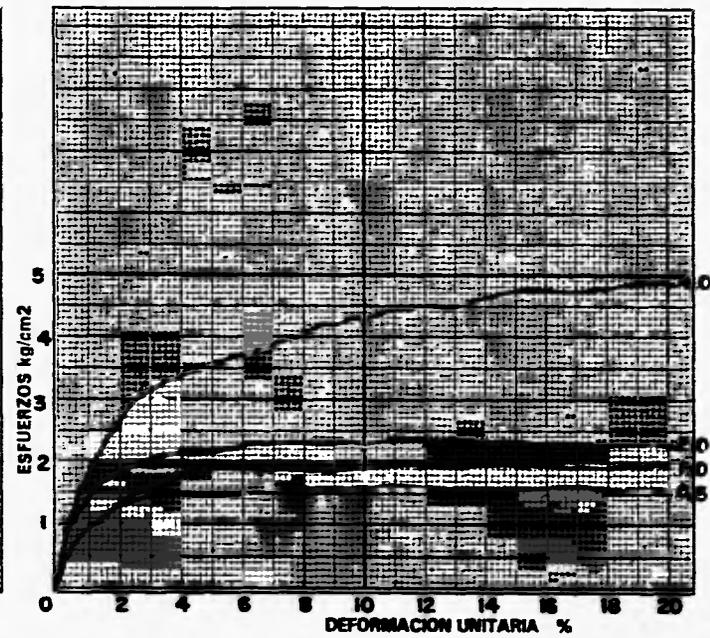
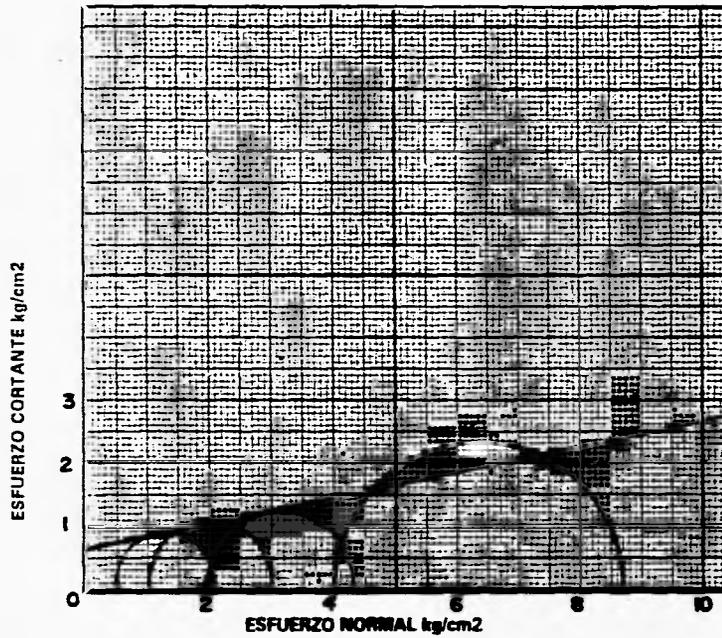


FIG. V.3.12

RAPIDA  CONSOLIDADA RAPIDA  LENTA

PRUEBA No	W <sub>i</sub>	W <sub>f</sub>	e <sub>i</sub>	e <sub>f</sub>	G <sub>r</sub>	G <sub>f</sub>	$\bar{\sigma}_3$	$\bar{\sigma}_1 - \bar{\sigma}_3$	$\Delta^*h$	PARAMETROS DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE
	%	%			%	%	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	mm <sup>3</sup>	
1	40.42		1.168		89.63			0.800	1.678	qu = 8 T/m <sup>2</sup>
2	41.07		1.174		90.60			0.916	1.681	
3										
4										

SONDEO: 5 \_\_\_\_\_ PROF. 7.98-7.53 M.

DESCRIPCIÓN: \_\_\_\_\_

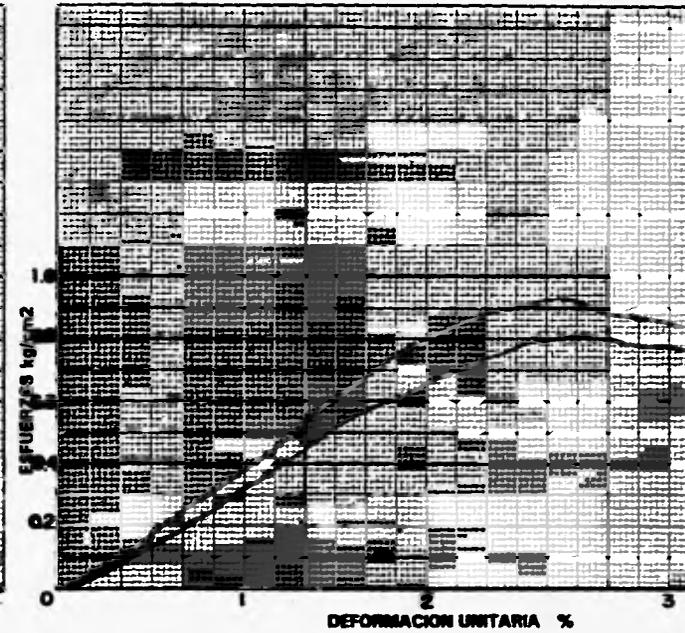
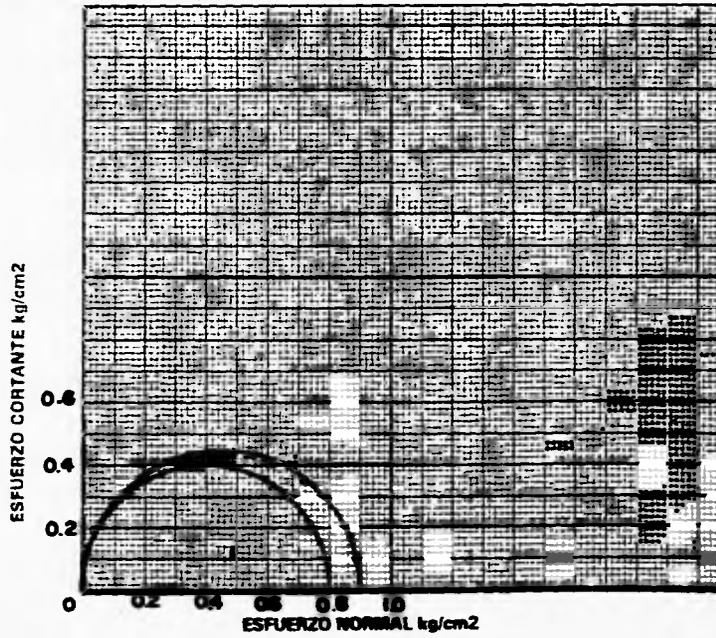


FIG. V.3.13

RAPIDA  CONSOLIDADA RAPIDA  LENTA

PRUEBA	W <sub>i</sub>	W <sub>f</sub>	e <sub>i</sub>	e <sub>f</sub>	G <sub>i</sub>	G <sub>f</sub>	$\bar{\sigma}_3$	$\bar{\sigma}_1 - \bar{\sigma}_3$	$\bar{\sigma}'_n$	PARAMETROS DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE
No	%	%			%	%	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	t/m <sup>3</sup>	
1	45.48		1.254		93.58		0.50	1.403	1.665	$\phi = 4^\circ$ C = 6.5 T/m <sup>2</sup>
2	40.70		1.170		90.07		1.00	1.877	1.679	
3	45.66		1.228		95.91		2.00	1.657	1.687	
4	46.02		1.223		97.50		4.00	1.840	1.702	

SONDEO: 5 PROF. 7.08-7.52 M.

DESCRIPCIÓN: \_\_\_\_\_

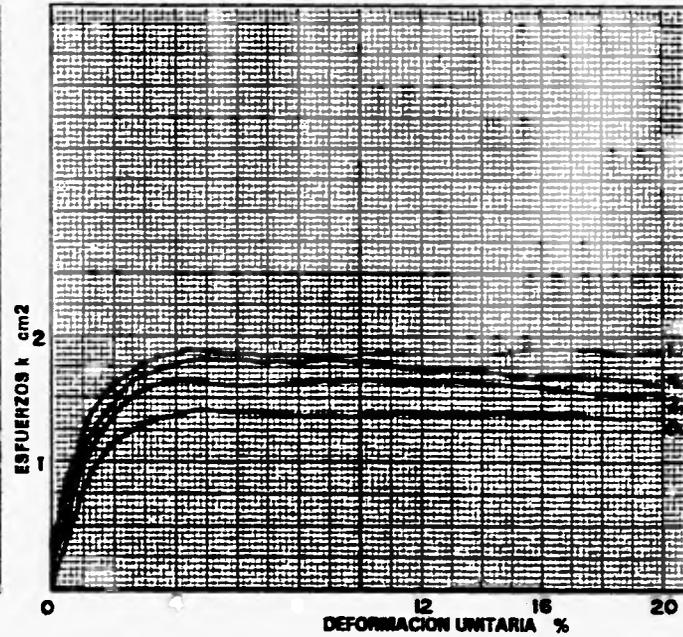
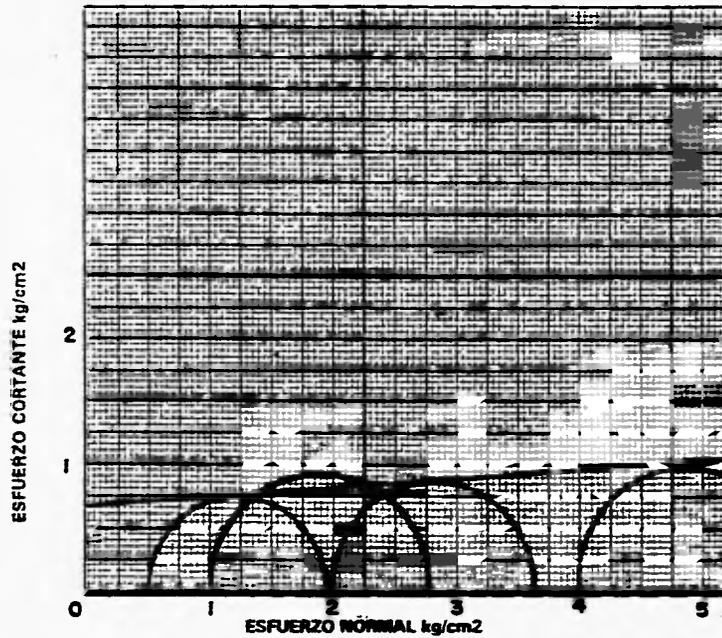


FIG. V.3.14

RAPIDA  CONSOLIDADA RAPIDA  LENTA

PRUEBA No	W <sub>i</sub> %	W <sub>f</sub> %	e <sub>i</sub>	e <sub>f</sub>	G <sub>i</sub> %	G <sub>f</sub> %	$\sigma_3$ kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_1 - \sigma_3$ kg/cm <sup>2</sup>	$\bar{\sigma}_h$ t/m <sup>3</sup>	PARAMETROS DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE.  $\phi = 21^\circ$  C = 8 T/m <sup>2</sup>
1	49.29						0.500	2.245	1.728	
2	50.87		1.382		98.31		1.000	1.543	1.691	
3	50.95		1.351		100.00		2.000	4.406	1.708	
4	48.83		1.338		97.48		4.000	6.704	1.700	

SONDEO: 5 PROF: 11.88-11.88 M.

DESCRIPCIÓN: \_\_\_\_\_

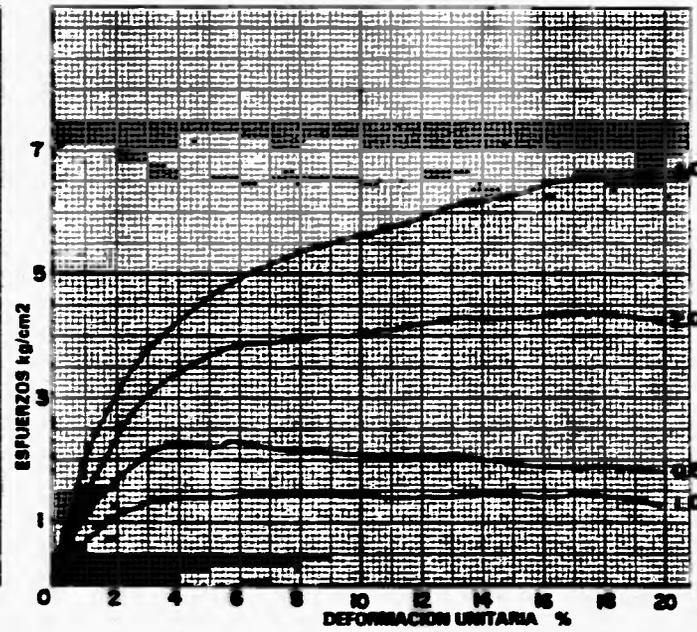
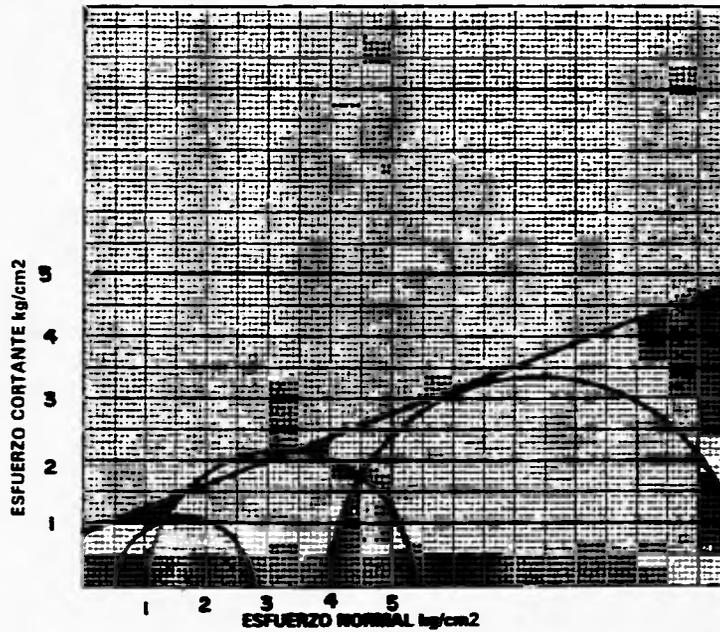


FIG. V.3.15

RAPIDA  CONSOLIDADA RAPIDA  LENTA

PRUEBA No	W <sub>i</sub>	W <sub>f</sub>	e <sub>s</sub>	e <sub>f</sub>	G <sub>i</sub>	G <sub>f</sub>	σ <sub>3</sub>	σ <sub>1</sub> -σ <sub>3</sub>	τ <sub>h</sub>	PARAMETROS DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE
	%	%			%	%				
1	54.30		1.368		100.00	100.00	0.40	2.20	1.69	$\phi' = 30^\circ$ $C = 3 \text{ T/m}^2$
2	55.70		1.340		100.00	100.00	0.75	2.80	1.70	
3	56.00		1.340		100.00	100.00	1.20	3.50	1.71	
4	57.00		1.350		100.00	100.00	1.80	4.60	1.71	

SONDEO: 5 PROF. 18.00-18.50 M.

DESCRIPCIÓN: ARENA FINA LIMOSA

87

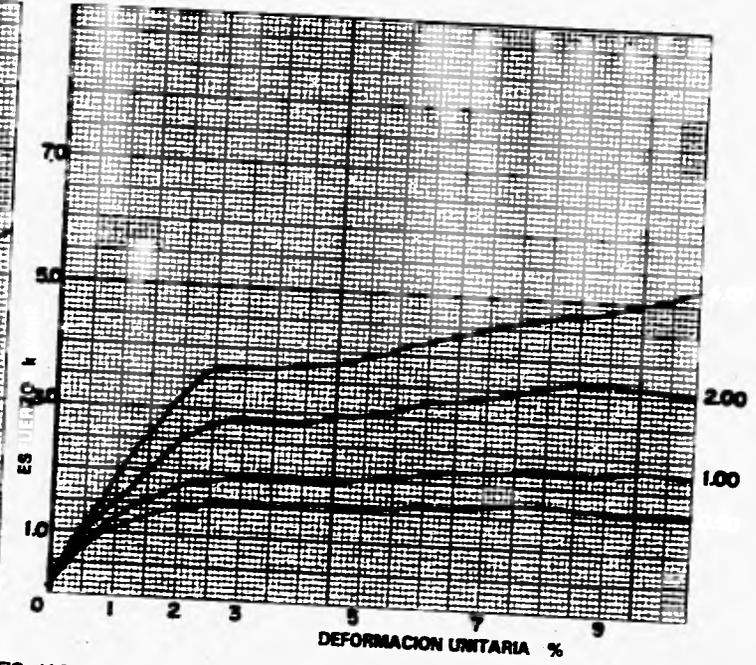
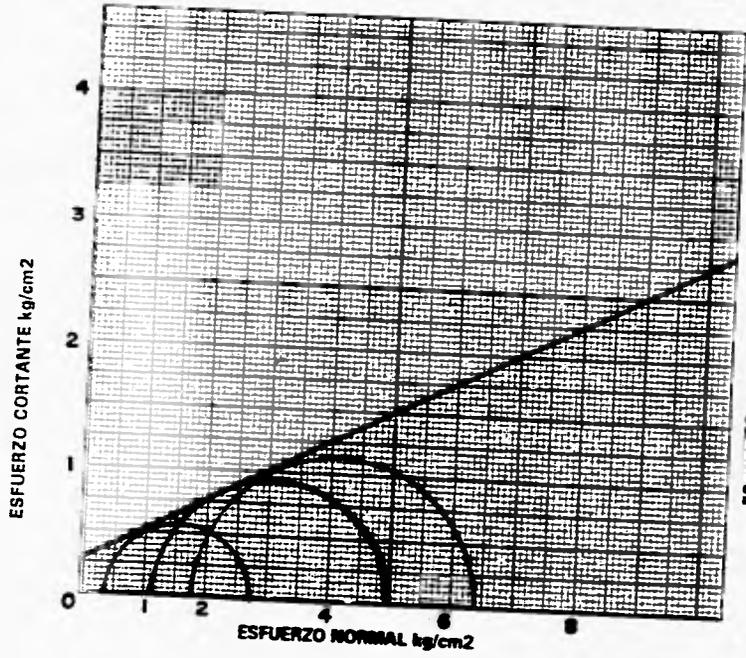


FIG. V.3.16

V.- **ESTRATIGRAFIA Y PROPIEDADES DEL SUBSUELO.**

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

## **ESTRATIGRAFIA Y PROPIEDADES DEL SUBSUELO.**

A continuación se describen las características de los estratos que forman el subsuelo donde quedará ubicada la Planta de Acetaldehído.

En general, la estratigrafía del subsuelo tiene la siguiente secuencia:

Son arcillas o mezclas de arcillas con arenas.

A profundidades someras, tenemos arcillas arenosas de color rojizo, variando la consistencia de media a rígida.

Más abajo se presentan estratos de arena arcillosa de color gris o café, que indican los diferentes estados de oxidación y saturación con una compacidad que varía de media a alta.

Bajo estas capas se localizan arcillas de consistencia rígida a muy rígida; subyaciendo a estos estratos se localiza la parte superior con alteraciones de la formación basal " AGUEGUEXQUITE ", que pertenece al Mioceno Superior y que se distingue por estar compuesto sus estratos, por arcillas ligníticas de color azul grisáceo; algunas veces tobáceas, fuertemente preconsolidadas y duras o muy compactas.

Para analizar la capacidad de carga de los estratos, se emplearán las ecuaciones de TERZAGHI para cimentaciones superficiales; las ecuaciones de MEYERHOF para cimientos profundos.

Cuando el suelo de apoyo es de tipo cohesivo, se empleará la ecuación de SKEMPTON (usando un factor de seguridad de tres), esto es, tanto para cimentaciones superficiales, como cimentaciones profundas.

En la mayoría de los casos se ha recomendado como solución de cimentación, las de tipo superficial: zapatas aisladas, corridas o losas de cimentación; y para las estructuras muy pesadas, la cimentación recomendada es pilas o pilotes.

Después de definir y actualizar la capacidad de carga de la solución recomendada, se revisan su respuesta a los asentamientos, que serán calculados, tomando como base la teoría general de consolidación de TERZAGHI.

Para definir la distribución de los esfuerzos originados por la estructura, a los diferentes estratos de suelo, se valúan por medio de las gráficas de FADUM.

Después de definir el criterio general que será usado, para valuar las propiedades mecánicas, nos abocamos a aplicarlo, de acuerdo a los datos y características obtenidas en el subsuelo que servirá de desplante, a la estructura en estudio.

## **PROPIEDADES MECANICAS.**

De los resultados de las diferentes pruebas se pueden inferir las propiedades mecánicas de los variados estratos que a continuación se mencionan.

En la superficie tenemos suelos de consistencia media a rígida, hasta el nivel a aguas freáticas, que se puede deber a la disminución del nivel de estas aguas; es decir, estos estratos de arcilla con arena presentan características de preconsolidación. Estas propiedades las presentan estratos entre el nivel del terreno natural y el nivel de aguas freáticas, que esté aproximadamente a los 5 m de profundidad.

A continuación se presenta un estrato de unos 7 m de espesor de arena fina con arcilla de color gris o café, con una consistencia media a rígida, síntoma de su estado de preconsolidación.

Arcilla arenosa de color café o gris muy densa se presenta como base del estrato anterior y a la vez como afirmación de que pertenece a la formación " AGUEGUEXQUITE ", aunque presente un bajo grado de alteración.

Con referencia a la capacidad al esfuerzo cortante, tenemos que el suelo arcilloso, en su mayoría, presenta gran capacidad al corte, siendo mayor de 6 t/m<sup>2</sup>, como se puede observar en la tabla VI.1.

De igual manera, todos los estratos presentan características de gran resistencia a la capacidad de carga, pues varía de 7 Ton/m<sup>2</sup>, en adelante, lo cual indica que dependiendo del tipo de requisitos que necesite cubrir la cimentación de la planta, se puede pensar en una cimentación somera.

Un fenómeno importante por sus consecuencias y que no se ha mencionado es el de la licuación de suelos granulares, y que es producida por una reducción importante de su resistencia al corte que se originaría por el desarrollo o presencia de presiones de poro altas, inducidas por la aplicación de esfuerzos cíclicos o monotónicos, bajo condiciones " NO DRENADAS ".

Del comentario y definición anterior tenemos que, la licuación encuentra gran campo de acción en esta región, ya que el subsuelo es del tipo granular y es una zona de alta sismicidad; además de que los suelos se encuentren saturados. Esta situación solo es factible en la zona aledaña a la Laguna "Pajaritos" o en los márgenes del Río Coatzacoalcos, pues en las demás zonas es difícil que se presente la licuación, aunque se puedan presentar fallas del subsuelo que se reflejen como marcados asentamientos o deformaciones, pero que no llegue el suelo a la situación de formar un fluido en movimiento que es la pérdida total de la capacidad o resistencia al corte, y de un cambio de volumen importante del suelo al no encontrarse confinado.

SONDEO No.	PROFUNDIDAD m	TIPO PRUEBA	W %	e	G %	O	C T/M2	qu T/M2
1	4.00 - 4.80	"Q"	48	1.245	100	18°	2.5	
	6.00 - 6.80	"Q"	51	1.360	100	9°	2.5	
	9.00 - 9.80	"Q"	51	1.350	100	8°	6.0	
2	2.00 - 2.39	"qu"	43	1.220	91			10.0
	2.00 - 2.39	"R"	38	1.030	100	23°	4.0	
	4.00 - 4.60	"qu"	53	1.290	100			5.5
	4.00 - 4.60	"Q"	53	1.270	100	9°	6.5	
	5.00 - 5.60	"qu"	53	1.310	100			7.5
	5.00 - 5.60	"R"	55	1.410	100	12°	6.0	
	6.00 - 6.60	"qu"	53	1.380	99			12.0
	6.00 - 6.60	"R"	55	1.490	99	14°	5.5	
	7.00 - 7.60	"Q"	57	1.380	29			3.5
7.00 - 7.60	"Q"	55	1.340	100	11°	6.0		
4	3.00 - 3.31	"qu"	37					14.0
	3.00 - 3.31	"Q"	37			14°	10.0	
	5.00 - 5.50	"qu"	67	1.730	100			7.1
	5.00 - 5.50	"Q"	42	1.190		0°	12.0	
7.00 - 7.40	"Q"	42	1.170	100	0°	6.5		
5	3.00 - 3.60	"qu"	36	1.000	95			4.9
	3.00 - 3.60	"Q"	36	1.020	95	10°	4.0	
	7.00 - 7.53	"qu"	40	1.170	90			8.0
	7.00 - 7.53	"Q"	45	1.250	95	4°	6.5	
	9.00 - 9.60	"qu"	47	1.190	100			7.6
	9.00 - 9.60	"Q"	52	1.060		0°	7.0	
	10.45 - 10.86	"Q"	45	1.120	100	11°	4.0	
	10.45 - 10.86	"qu"	46	1.180	100			7.9
	11.00 - 11.48	"qu"	48	1.300	100			7.0
11.00 - 11.48	"Q"	51	1.350	100	21°	8.0		
18.00 - 18.50	"Q"	53	1.340	100	30°	3.0		

W - Contenido de agua

e - Relación de vacíos

G - Grado de saturación

O - Angulo de fricción interna

C - Parámetro cohesión

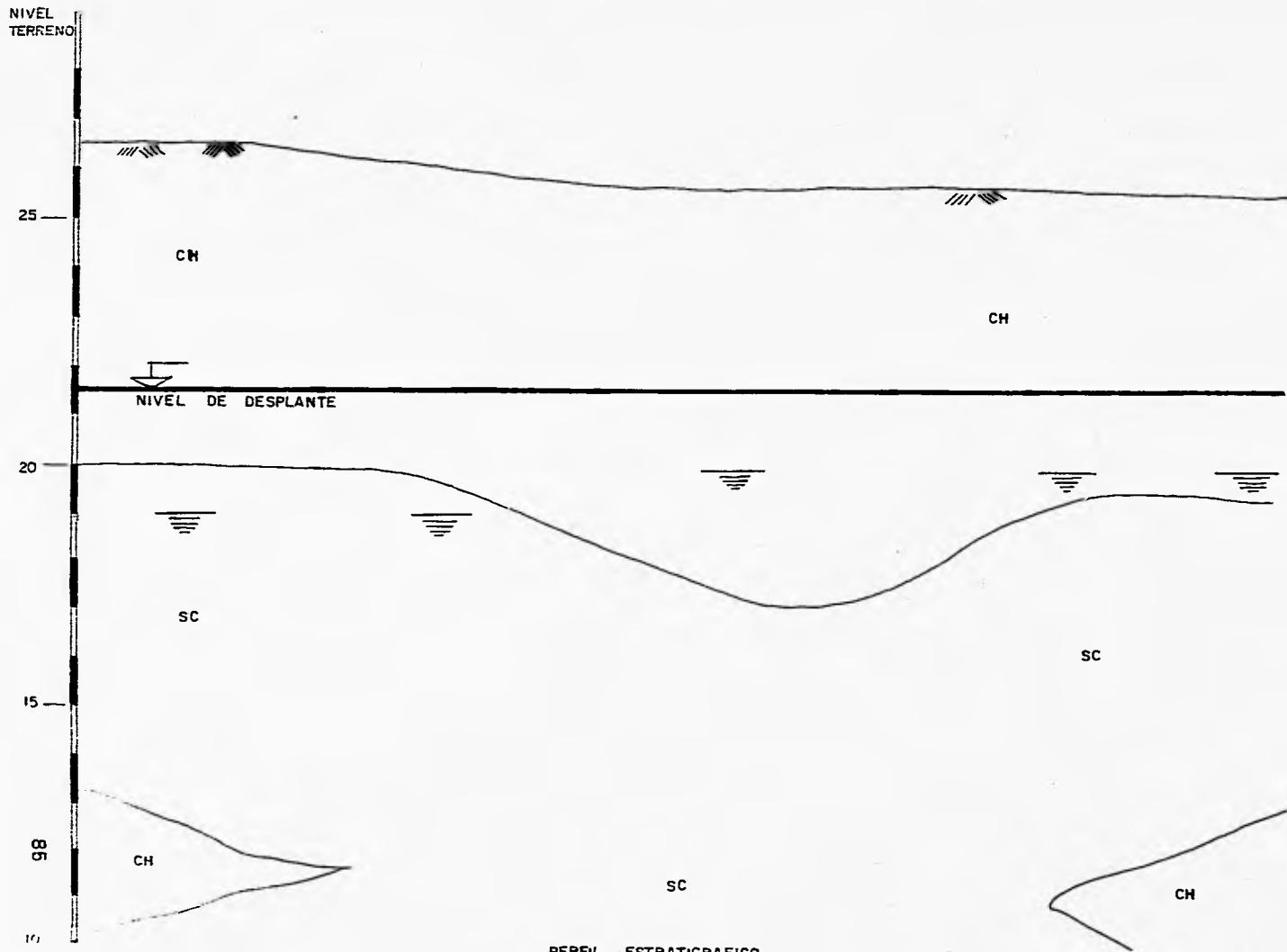
qu - Resistencia a la compresión simple

"Q" - Prueba triaxial rápida

"R" - Prueba rápida consolidada

"qu" - Prueba compresión simple

FIG. VI.1



PERFIL ESTRATIGRAFICO  
 FIG. VI-2

**VI.- ANALISIS DE LA CIMENTACION.**

## **ANALISIS DE LA CIMENTACION.**

Siendo la cimentación un factor importante en la vida útil de una estructura, tanto desde el punto de vista de funcionalidad y factibilidad de construcción, como de economía; se considera la elección del tipo de cimentación como una decisión que repercutirá por siempre en la vida de la estructura.

En términos generales, existen dos tipos de cimentación en base a la relación del ancho de la estructura a desplantar, con la profundidad del cimientto y que son:

- Cimentaciones superficiales o someras
- Cimentaciones profundas

Aunque no existe una frontera bien definida entre estos dos grupos de cimentación, dentro del primero tenemos como tipos frecuentes: las zapatas aisladas, rectangulares, cuadradas o circulares. Las zapatas corridas y las losas de cimentación, se eligen dependiendo de la magnitud de las descargas de la estructura y de la capacidad de carga del subsuelo; es decir, si tenemos una descarga concentrada, como es el caso de una columna, se pensará en primer lugar en una zapata aislada rectangular o cuadrada para transmitir estos esfuerzos al subsuelo; en el caso de ser dos o más columnas, o un muro, la solución podría ser una zapata corrida; y en el caso de que la capacidad de carga del terreno sea baja, se puede pensar en una losa de cimentación, que por lo general ocupa toda el área de la estructura, para distribuir en forma uniforme las descargas.

Si se presenta la situación de que una losa de cimentación no sea funcional, debido a la baja capacidad de carga del estrato, se debe recurrir a desplantar la estructura en un estrato más resistente y a mayor profundidad, llegando así al segundo grupo, el de las cimentaciones profundas.

En este grupo caen las cimentaciones, cuyo desplante es en estratos resistentes que se encuentran a profundidades, que en ocasiones no es económico alcanzar.

Dentro de este grupo tenemos como estructura de cimentación: los pilotes, las pilas, los cilindros y los cajones de cimentación.

En base a las características que debe de cumplir una cimentación, que a grosso modo son: estabilidad y economía, se decidió analizar con mayor detalle dos alternativas de cimentación, que parecen apropiadas para las solicitaciones de la estructura industrial, y acorde al tipo de suelo donde se va a desplantar la misma.

Dadas las características de la estructura industrial, se debe tener en cuenta la alta sensibilidad de la estructura, ya que tiene claros grandes y existe gran cantidad de tubería de proceso que comunica la casa de máquinas con los equipos y estructura localizados fuera de la estructura de concreto reforzado.

La capacidad de carga de una cimentación se puede calcular con las teorías conocidas y con los datos del laboratorio obtenidos, ya que en

recientes investigaciones se define la gran congruencia que existe entre las fórmulas teóricas conocidas, y los resultados prácticos obtenidos en campo basados en estas teorías.

Son dos las alternativas de cimentación que por las características del subsuelo y de la estructura a desplantar, se consideran como cimentaciones apropiadas para su análisis minucioso.

#### **PRIMERA ALTERNATIVA**

La primera alternativa corresponde a una losa corrida de cimentación para la estructura de concreto reforzado, y zapatas aisladas para las estructuras altas y esbeltas; así como, los equipos horizontales localizados en la zona de alta presión y de almacenamiento intermedio.

La losa de apoyo se desplantará a 1.50 m bajo el nivel del piso terminado de la planta, o sea el nivel 21.50 m, ya que la planta tiene el nivel de 23.00 m.

Se piensa en esta alternativa debido a la baja intensidad de los esfuerzos de desplantes, y la función de la losa corrida sería la de formar un estrato resistente que transmita las cargas al subsuelo.

## **SEGUNDA ALTERNATIVA**

La segunda alternativa, sería desplantar la estructura sobre traveses de liga que reciban los elementos de cargas y que transmitan este esfuerzo a pilotes de concreto reforzado, que serán hincados hasta encontrar un estrato resistente en suelos duros o densos a una profundidad de 15.00 a 17.00 m, según datos obtenidos de los muestreos.

## **ANALISIS DE LA PRIMERA ALTERNATIVA**

### **CIMENTACION LOSA CORRIDA.**

Datos:

Losa de:    42.00 m    Largo.  
                  26.00 m    Ancho  
                  0.50 m    Espesor

### **CARGAS DE OPERACION DEL CONJUNTO**

W1 = Cargas totales verticales (suma del peso del equipo y de la estructura)  
= 2,100 Ton. (Ver Fig. III.3)

W2 = Peso de la cimentación.  
= 42.00 m. X 26.00 m. X 0.50 m. X 2.4 T/m<sup>3</sup> (Peso concreto reforzado)

$$= 1,310 \text{ Ton.}$$

$$H = \text{Cargas totales horizontales (Datos del fabricante)} \\ 350 \text{ Ton. (Ver Fig. III.3)}$$

$$M_y = \text{Momento máximo actuante (datos del fabricante)} \\ = 2,900 \text{ ton (Ver. III.3)}$$

$$A = \text{Area de contacto de la cimentación.} \\ = 42.00 \text{ m X } 26.00 \text{ m} \\ = 1.092 \text{ m}^2$$

$$I = \text{Momento de Inercia de la cimentación} \\ = \frac{bh^3}{12} \text{ donde } b = \text{Largo de la losa} \quad h = \text{Ancho de la losa} \\ \frac{42.00 \times (26.00 \text{ m})^3}{12} = 61,516.00 \text{ m}^4$$

$$Y = \text{Distancia a la fibra mas alejada en el sentido del momento de inercia menor.}$$

$$\text{Ancho} = 26.00 \text{ m. } Y = 26.00/2 \\ = 13.00 \text{ m.}$$

$$P = \text{Peso total de la estructura y la cimentación}$$

$$= 2,100 + 1,310.00 = 3,410.00 \text{ Ton.}$$

P1 = Presión vertical de contacto en operación

$$= \frac{W1 + W2}{A} = \frac{2,100.00 + 1,310.00}{1,092.00} = 3.12 \text{ T/M2}$$

P2 = Presión máxima actuante, en la superficie de contacto de la losa de cimentación.

$$= P + \frac{My \cdot Y}{I} = \frac{3,410.00}{1,092.00} + \frac{2,900.00 \times 13.00}{61,516.00}$$

$$= 3.12 + 0.61 \text{ Ton/m2}$$

$$= 3.12 + 0.61 = 3.73 \text{ Ton/m2}$$

## CAPACIDAD DE CARGA DEL SUBSUELO.

### PRIMER CRITERIO

En base al resultado de la prueba no confinada en arcilla menos resistente tenemos: En el Sondeo No. 2, la muestra de 4.00 a 4.60 m de profundidad, del resultado de la prueba se obtiene un valor para  $q_u = 5.5 \text{ T/m}^2$ , el cual cubre la presión máxima de servicio, aunque este punto queda fuera del área de localización de la planta.

En el sondeo No. 5, se obtuvo para el material localizado de 3.00 a 3.60 m de profundidad, un resultado de  $q_u = 4.90 \text{ T/m}^2$ , que cumple y cubre el valor de las solicitaciones de la estructura, pero como el nivel de la boca del sondeo es en este punto  $+27.43 \text{ m}$ , y la profundidad de desplante es  $+21.50$ , este valor queda fuera de opción, pues será levantado en caso de desplante. En este mismo sondeo, pero a una profundidad de 9.00 a 9.60, tenemos un valor para  $q_u = 7.60 \text{ T/m}^2$ , esto es, tendremos esta capacidad de carga a la elevación de  $+18.00$  aproximadamente, debido a lo cual, a esa profundidad las presiones transmitidas por la planta, serán de un orden inferior a los  $3.73 \text{ T/m}^2$ , que es el valor de la presión actuante en la losa de cimentación.

### SEGUNDO CRITERIO

Basados en la teoría de Skempton, para suelos puramente cohesivos, tenemos:  $q_{ad} = \frac{c}{F.S.} + \gamma D_f$  donde:

$q_{ad}$  = Capacidad permisible de carga del terreno.

$C$  = Paramento de cohesión, que para este caso es igual a 2.50 T/m<sup>2</sup>, que se obtuvo en una prueba rápida no-drenada del sondeo 5 a una profundidad de 7.0 Mts.

$N_c$  = Constante o coeficiente para una cimentación rectangular.  
Este valor se obtiene relacionando la profundidad de desplante contra el ancho (dimensión menor), del cimiento.  
Con esta información se entra a una gráfica de donde se obtiene un valor de  $N_c$ , siendo en este caso igual a 6.20.

$\gamma$  = Peso volumétrico del suelo en el sitio, que tiene un valor promedio de 1.7 T/m<sup>3</sup>.

$D_f$  = Profundidad de desplante, igual a 1.50 m (nivel terminado de la planta + 23.00 y nivel de desplante + 21.50)

F.S. = Factor de seguridad, cuyo valor es 3, para este caso.

Sustituyendo en:  $q_{ad} = \frac{C N_c}{F.S.} + \gamma D_f$  tenemos:

$$q_{ad} = \frac{(2.50)(6.20)}{3} + (1.70)(1.50) = 7.70 \text{ T/M}^2$$

$q_{ad} = 7.70 \text{ T/M}^2$  que es un valor superior al requerido por la cimentación de la estructura.

Este criterio es muy conservador, pues supone como mecanismo de falla del terreno al generado en un suelo homogéneo puramente cohesivo y blando.

De aquí podemos observar lo siguiente:

La presión máxima actuante  $P_2 = 3.73 \text{ T/M}^2$  es menor que la capacidad de carga del terreno del primer criterio que fué de  $7.60 \text{ T/M}^2$ , así como, lo mismo sucede con este segundo criterio de comparación.

Dentro de lo que es capacidad de carga admisible o permisible del subsuelo, podemos estar seguros de ella, pero nos queda un aspecto importante para la estructura, que es el de los asentamientos tanto totales como diferenciales.

En el aspecto de asentamientos que son primordiales en una obra industrial, tenemos que pueden ser originados por alguna o algunas de las siguientes causas: peso propio, saturación del terreno, sismo, vibraciones, fallas de cavernas, contracción de arcillas por secado, disminución o pérdida de apoyo lateral, remoldeo, extracción de agua del subsuelo, etc.

En nuestro caso, el aspecto de asentamientos es importante por el tipo de estructura y los factores que pueden ser: Los originados por sismo, el peso propio de la estructura, las vibraciones propias de la estructura industrial; y poco probable, la saturación del terreno donde se desplanta la estructura.

A continuación se presentan los resultados de los análisis de los asentamientos calculados en dos puntos diferentes de la estructura, estos valores son tanto totales como diferenciales.

### CALCULO DE LOS ASENTAMIENTOS

En el Sondeo No. 6 y 7 tenemos:

El nivel de desplante de la losa es 21.50 m y el nivel de los Sondeos No. 6 está en el nivel 26.18, y el Sondeo No. 7 está en 26.12, por lo cual tenemos una profundidad de desplante de 4.70 m.

$$\text{Si } \Delta H_t = \sum_{i=1}^{i=n} \Delta H_i \text{ Donde } \Delta H_i = \frac{\Delta e_i}{1 + e_{o_i}} H_i$$

Para el caso del Sondeo No. 6, tenemos dos estratos representativos, uno de 1.50 m de espesor que es una arcilla, y un estrato de 7.00 m que es una arena-arcillosa, y para el Sondeo No. 7 tenemos un espesor de 4.00 metros para el primer estrato y de 4.00 m para el segundo estrato, para una profundidad de los dos sondeos de 13.50 m.

PARA EL SONDEO No. 6.

$$H_1 = 1.50 \text{ m}$$

$$e1 = 1.20$$

$$e01 = 1.22$$

$$\Delta e1 = e01 - e1 = 1.22 - 1.20 = 0.02$$

$$H2 = 7.00$$

$$e2 = 1.38$$

$$e02 = 1.40$$

$$\Delta e2 = e02 - e2 = 1.40 - 1.38 = 0.02$$

$$\Delta H_1^s = \frac{0.02}{1 + 1.20} (1.50) + \frac{0.02}{1 + 1.38} (7.00)$$

$$= 0.072 \text{ mts} = \underline{7.2 \text{ Cms.}}$$

Para el Sondeo No.7.

$$H1 = 4.00 \text{ m}$$

$$e1 = 1.020$$

$$e_{01} = 1.04$$

$$\Delta e_1 = e_{01} - e_1 = 1.04 - 1.02 = .02$$

$$H_2 = 4.00$$

$$e_2 = 1.25$$

$$e_{02} = 1.26$$

$$\Delta e_2 = e_{02} - e_2 = 1.26 - 1.25 = 0.01$$

$$\Delta H_1^2 = \frac{0.02}{1 + 1.02} (4.00) + \frac{0.01}{1 + 0.125} (4.00)$$

$$\Delta H_1^2 = 0.057 \text{ mts.} = \underline{5.7 \text{ cms.}}$$

De lo anterior tenemos que el asentamiento total en el sondeo No. 6, es del orden de los 7cms. y el asentamiento del Sondeo No. 7 es de 5.5. cm., por lo tanto el asentamiento diferencial será del orden de 1.5 ó 2.0 cm, el cual es aceptable.

Dado que tendremos asentamientos aceptables en la estructura, debido a la baja presión de contacto de la cimentación, se juzga que más del 50 % de estos asentamientos ocurrirán durante el período de construcción, y que los alivios de presión para el terreno por corte serán del orden de los 2.50 m como mínimo, lo cual abate aún más el valor de los asentamientos.

## **ANALISIS DE LA SEGUNDA ALTERNATIVA**

### **CIMENTACION SOBRE PILOTES**

Se piensa en esta posibilidad debido a la concentración de cargas en algunos puntos de la estructura, como es el caso de las columnas metálicas. De los parfiles estratigráficos, podemos pensar que donde se pueden desplantar o apoyar los pilotes, debe ser sobre la capa que se localiza en el + 7.00 m aproximadamente, que es una capa arcillo-arenosa muy densa que pertenece a la formación "AGUEGUEXQUITE" y por sus características mecánicas, según los datos de la tabla VI.1, se observa que puede resistir las cargas transmitidas por los pilotes de la estructura industrial.

Para el análisis de este tipo de cimentación, se tienen los siguientes factores: Es necesario tener presente el fenómeno de fricción negativa; este fenómeno se desarrolla cuando la base o punta de sus pilotes queda apoyado en un estrato resistente de baja compresibilidad, que yace bajo suelos compresibles sujetos a un proceso de consolidación. De esta manera se presentará un movimiento relativo entre los pilotes y el suelo compresible que lo circunda, este movimiento generará esfuerzos de fricción en el sentido descendente a lo largo del fuste; bajo tal acción, el pilote puede fallar por penetración en la capa resistente, así como también, reduce la capacidad de carga del elemento.

En nuestro caso es muy relativo que se presente este fenómeno, el de la fricción negativa, pues los estratos que anteceden al estrato donde se puede desplantar los pilotes, es un material de baja compresibilidad y poco probable de que sufra consolidación.

Para el análisis detallado de esta segunda alternativa, se basa en el uso de pilotes precolados de 40 cm. por lado y poder definirse así, la capacidad de carga, la longitud de los pilotes será del orden de los 14.00 a 16.00 m.

Para el cálculo de la capacidad de carga usaremos la fórmula:

$$q = q_f + q_p \quad \text{donde:}$$

$$q = \text{Capacidad de carga total}$$

$$q_f = \text{Capacidad de carga por fricción}$$

$$q_p = \text{Capacidad de carga por punta}$$

$$q_f = C \times a_p \times L$$

Donde:

$$C = \text{Cohesión del suelo, } 2.50 \text{ T/m}^2$$

$$a_p = \text{Area perimetral del pilote, } 0.40 \text{ m} \times 4 \text{ lados} = 1.60 \text{ m}^2 / \text{m.l.}$$

L = Longitud del pilote, de 14.00 a 16.00 m

Sustituyendo en :

$$q_f = C \times s_p \times L$$

$$q_f = (2.50) (1.60) (14.00) = 56.00 \text{ Ton.}$$

$$q_f = 56.00 \text{ Ton.}$$

Y además, por Meyerhof:

$$q_p = 1.3 C N_c + \gamma D_f N_q + 0.4 \gamma' B N_\gamma$$

Para un valor de  $C = 3.00 \text{ Ton/m}^2$  y  $\phi = 30^\circ$  (Datos tomados del Sondeo No. 5 a una profundidad de 14.00 ) según pruebas del laboratorio para el estrato resistente tenemos:

$$N_c = 35$$

$$N_q = 22$$

$$N_\gamma = 20$$

$$\gamma' = \text{Peso volumétrico del suelo sumergido, } 0.80 \text{ T/m}^2$$

**Df = Profundidad de desplante, 14.00 m**  
**B = Ancho del pilote, 0.40 m**

**Efectuando la sustitución tenemos:**

$$q_p = 1.3 C N_c + \gamma D_f N_q + 0.4 \gamma' B N_y$$

$$q_p = 1.3 (3.00) (35) + (0.80) (14.00) (22) + 0.40 (0.80) (20)$$

$$q_p = 389.30 \quad \text{Ton/m}^2$$

**Para calcular la capacidad por cada pilote procedemos a valuar el área de contacto del pilote.**

$$a_p = \text{Area de la punta, } 0.40 \times 0.40 \text{ m} = 0.16 \text{ m}^2$$

**Por lo tanto**

$$q_p = 389.30 \text{ Ton/m}^2 \times 0.16 \text{ m}^2$$

$$q_p = 62.00 \text{ Ton.}$$

$$\text{Si } q = q_p + q_f$$

$$q = 62.00 + 56.00 = 118.00 \text{ Ton.}$$

$$q_{ad} = \frac{q}{F. S.}$$

$$q_{ad} = \frac{118.00}{1.50} = 78.00 \text{ Ton.}$$

De lo anterior tenemos que la capacidad de carga de cada pilote, es del orden de las 78.00 Toneladas.

El dato anterior, lo podemos comparar con el valor de las descargas y llegar a la conclusión de que la capacidad de carga del elemento, el pilote, es aceptable y pensar en su uso.

De acuerdo a los valores que se tienen en las descargas de la estructura, se considera que la distribución de carga de los pilotes en el estrato resistente es uniforme, y analizando los esfuerzos procedemos a calcular el comportamiento mecánico del subsuelo es completamente diferente cuando se trata de un pilote, que cuando se trata de un grupo de ellos.

Dado que es escasa la información sobre este tema, el comportamiento del grupo de pilotes, se han aceptado una serie de reglas prácticas para revisar la capacidad de carga última de un grupo de pilotes.

Bajo las condiciones anteriores, se debe cumplir que:

$$n Q_a \leq \frac{Q_g}{F.S.}$$

Donde:

n = Número de pilotes

**Qa = Capacidad de carga admisible por pilote**

**Qg = Capacidad de carga admisible del grupo de pilotes**

**F.S. = Factor de seguridad que normalmente se considera igual a 3**

**Además:**

$$Qg = qp BL + Df (2B + 2L) fs$$

**Donde:**

**B = Ancho del área de cimentación piloteada en metros**

**L = Largo del área de cimentación piloteada, en metros**

**fs = Resistencia al corte media del suelo, en Ton/m<sup>2</sup>, entre la superficie y la profundidad de desplante, Df.**

El grupo de pilotes puede considerarse seguro contra falla por resistencia al corte del subsuelo, si la carga total de diseño no excede el valor de  $Qg/3$

$$n Q a \leq \frac{Qg}{F.S.}$$

Carga total de la estructura, los equipos y las contratraves de liga es de 2,600 Ton.

Calculando el número de pilotes

$$2,600 \text{ Ton} - 76 \text{ Ton / Pza} = 35 \text{ Piezas o Pilotes}$$

Por lo tanto

$$n \text{ Qa} = 35 (78.00) = 2,730.00 \text{ Toneladas}$$

Por otro lado

qp = Capacidad de carga permisible a la profundidad de desplante de los pilotes es 7.50 Ton/m<sup>2</sup>, según los resultados de los sondeos.

B = Ancho, 26.00 m

L = Largo, 42.00 m

Df = Profundidad de desplante, 14.00 m.

fs = Resistencia media al corte de 0.00 a 14.00 m, 5.00 Ton/m<sup>2</sup>

$$Qg = q B L + Df (2B + 2L) fs$$

Sustituyendo :

$$Q_g = (7.50) (26.00) (42.00) + (14.00) (2 \times 26.00 + 2 \times 42.00) (5)$$

$$Q_g = 8,870 \text{ Toneladas}$$

Lo cual cumple con la condición

$$n Q_a \leq \frac{Q_g}{F.S.} \text{ es decir}$$

$$2730 \text{ Ton} \leq \frac{8870}{3} \text{ Ton}$$

$$2730 \text{ Ton} \leq 2957 \text{ Ton.}$$

lo cual cumple con la condición de capacidad de carga.

De los resultados obtenidos en los análisis de capacidad de carga y asentamientos, en las dos alternativas de cimentación para nuestra estructura industrial, observamos que los dos tipos cumplen con los requerimientos de seguridad contra fallas por resistencia al corte del suelo y de asentamientos permisibles.

Debido a que los requisitos anteriores son independientes entre sí, y que se deben aplicar en forma racional para evitar diseños defectuosos, procedemos a señalar algunos requisitos importantes que debe cubrir la cimentación para abatir los problemas constructivos y de costos elevados.

- 1.- Características de la Estructura.
- 2.- Características del Subsuelo.

#### **CARACTERISTICAS DE LA ESTRUCTURA.**

Dentro de lo que corresponde a las características de la estructura, tenemos por considerar lo siguiente :

Es importante la magnitud de las descargas de la estructura, aunque estan distribuidas de una manera uniforme.

La sensibilidad de la estructura, que en este caso es alta, es importante su consideración, pues es un factor primordial, ya que la estructura cuenta con equipos mecánicos que requieren seguridad y estabilidad para su buen funcionamiento.

El otro aspecto importante por considerar, es el del subsuelo, aquí tenemos que:

El grado de riesgo que puede tolerarse en esta cimentación es bajo, pues está relacionado con la sensibilidad de una estructura ante las variaciones ó irregularidades del subsuelo. Este grado de riesgo está íntimamente relacionado con la aparente uniformidad u homogeneidad del comportamiento, dentro de las propiedades mecánicas definidas para cada uno de los estratos que configuran el subsuelo que sustentará la cimentación de la estructura.

También sabemos que en la "Zona Alta" del área en estudio, es donde se han concentrado gran parte de las instalaciones industriales, pues la mayoría de las soluciones de cimentación han sido del tipo superficial, es decir, a base de losas de cimentación, zapatas aisladas ó corridas, y que dichas estructuras han presentado un comportamiento satisfactorio en cuanto a capacidad de carga y asentamientos.

De lo anterior por uniformidad de comportamiento a largo plazo, en el caso de capacidad de carga y asentamientos de la estructura y por las características geográficas de la zona, que en este caso es una zona de alta sismicidad, se recomienda para la cimentación de esta estructura, la del tipo superficial; es decir, una losa corrida que cubra toda el área de desplante de la estructura, pues tendrá un comportamiento más uniforme debido a los estratos que forman el subsuelo, el nivel freático, que se localiza a 3.00 m aproximadamente de profundidad y la localización dentro de la zona de alta sismicidad.

Los tres factores anteriores en combinación pueden hacer, en el caso de la cimentación a base de pilotes, que fallen algunos elementos en el aspecto de asentamientos permisibles para el buen funcionamiento de la maquinaria.

Con el desarrollo vertiginoso que presenta el crecimiento industrial, la mecánica de suelos, deberá proporcionar nuevos sistemas o métodos acordes a la estructuración del subsuelo, para solucionar de manera específica la cimentación ó localización más apropiada del proyecto.

**VII.- CONCLUSIONES.**

## **C O N C L U S I O N E S**

Los métodos rutinarios, con frecuencia tienden a sobreestimar las reacciones o parámetros calculados del subsuelo, o aplicar factores de seguridad excesivos contra la falla, en especial cuando los materiales del subsuelo son relativamente duros; en la medida que se ignore o subestime la preconsolidación; también es probable que se subestime la rigidez o resistencia del material. Bajo estas condiciones, se puede especificar o recomendar cimentaciones profundas, cuando en la práctica, las cimentaciones superficiales resultaran totalmente adecuadas.

Entre las consideraciones que se han encontrado efectivas de analizar bajo diversas circunstancias, están:

- a). El conocimiento general de las relaciones entre las propiedades de los suelos, en particular de diversas relaciones estadísticas existentes.
- b). Las implicaciones geológicas, no sólo con respecto a la preconsolidación o desecación, sino también con relación a la homogeneidad o heterogeneidad de los depósitos.
- c). El comportamiento de construcciones aledañas existentes sobre el mismo depósito o a la misma zona, aunando a las necesarias consideraciones teóricas para diseño o construcción, para asegurarse que de la nueva construcción, producirá condiciones menos desfavorables que las que corresponden a obras aledañas existentes.

d). Completar los resultados de pruebas de rutina y de los cálculos, por medio de investigaciones independientes, tales como observación de asentamientos, junto con pruebas de carga o bombeo, y por medio de estudios geofísicos.

### **RECOMENDACIONES PARA DISEÑO Y CONSTRUCCION.**

En el aspecto de diseño de la losa de cimentación tenemos como puntos importantes de observación:

La losa de cimentación deberá ser del tipo monolítico, es decir, no se debe incluir en su diseño las juntas de construcción para que tenga funcionamiento uniforme, esto es, como el de una capa de suelo resistente y homogénea.

Se deberá tener especial cuidado en el aspecto de cortante para las columnas con la losa de cimentación.

Los materiales que sean producto de corte, y que sea necesario utilizarlos para formar rellenos en las plataformas vecinas, pueden utilizarse satisfactoriamente, compactándolos a un 95 % del peso volumétrico óptimo, obtenido en una prueba proctor estandar. En el caso de estos materiales, se desechará la última capa, la superficial; que no es recomendable su uso como relleno por su intemperismo, tanto en cortes como en terraplenes se deberá desechar.

Para el desplante de los pavimentos en las áreas circunvecinas de circulación y en la plataforma de la planta, se recomienda estabilizar el suelo en sitio, la subrasante, con cal en un proporcionamiento del 6% del peso, y después construir los pavimentos que deberán ser del tipo rígido, de concreto hidráulico armado de 20 cm. de espesor como mínimo.

En el aspecto sísmico, se ha considerado como fuerza horizontal el 20% del peso total. El coeficiente sísmico recomendado es de 0.13° para el cálculo del empuje pasivo de tierras; se utilizará la teoría de Rankine.

Para el diseño en donde se involucren las cargas estáticas, se utilizará un factor de seguridad de 2.5, y en el caso de cargas accidentales, como el aspecto de sismos, se utilizará un factor de seguridad de 3, debido a que nos localizamos en una zona de alta actividad sísmica.

Las excavaciones que se requieran efectuar para la construcción de la cimentación de la estructura, no deberán permanecer mucho tiempo abiertas, ya que originarían el intemperismo y la liberación de esfuerzos del subsuelo.

Para la construcción de la losa de cimentación se deberá prever y evitar las juntas frías, como aspecto primordial, para lo cual se deberá contar con la cantidad de agregados y cemento para poder iniciar el colado, así como del equipo necesario para poder acelerar la fabricación del concreto.

**El agregado grueso que se utilice para la elaboración del concreto, deberá estar limpio de arcilla ó limo, ésto es debido a que los agregados no se encuentran en la zona, y los que se utilizan están normalmente contaminados.**

## **BIBLIOGRAFIA**

- BENAVIDES, L.** " GEOLOGIA PETROLERA DE MEXICO "  
**SYMPOSIUM INTERNACIONAL DEL PETROLEO,**  
MEXICO 1956.
- FIGUEROA, A.J.** " LA SISMICIDAD EN EL ESTADO DE VERACRUZ"  
II CONGRESO NACIONAL DE INGENIERIA SISMICA,  
VERACRUZ, VER. 1968.
- TERZAGHI, KARL RALPH B. PECK.**  
"MECANICA DE SUELOS EN LA INGENIERIA PRACTICA"  
2a. EDICION EDITORIAL "EL ATENEO".  
MEXICO, 1980.
- PECK, RALPH B.** SEGUNDA CONFERENCIA "NABOR CARRILLO"  
SOCIEDAD MEXICANA DE MECANICA DE SUELOS  
MEXICO, 1974.
- SOCIEDAD DE MECANICA DE SUELOS, A.C.**  
V REUNION NACIONAL DE MECANICA DE SUELOS.  
MEXICO 1970.
- JUAREZ BADILLO - RICO RODRIGUEZ** "MECANICA DE SUELOS"  
TOMO I Y TOMO II , 2a. EDICION, EDITORIAL LIMUSA.  
MEXICO, 1979.