

1122g



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

"CIMENTACION DE TANQUES CILINDRICOS  
VERTICALES DE GRAN CAPACIDAD EN EL  
COMPLEJO PETROQUIMICO MORELOS"

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A  
J. REYNALDO PALACIOS NUÑEZ

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

MEXICO, D. F.

1990



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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

# I N D I C E

Pág.

## CAPITULO I

INTRODUCCION . . . . .	1
------------------------	---

## CAPITULO II

GENERALIDADES DEL LUGAR Y PROYECTO . . . . .	3
II.1 Introducción . . . . .	3
II.2 Productos derivados del petróleo. . . . .	4
II.3 Localización . . . . .	6
II.4 Vías de comunicación . . . . .	6
II.5 Datos fisiográficos y geológicos . . . . .	9
II.6 Condiciones climatológicas . . . . .	9
II.7 Servicios en el complejo petroquímico Morelos . . . . .	10

## CAPITULO III

TANQUES DE ALMACENAMIENTO . . . . .	14
III.1 Definición . . . . .	14
III.2 Tipo de tanques . . . . .	14
III.3 Tanques cilíndricos verticales sin techo. . . . .	16

## CAPITULO IV

EXPLORACION Y MUESTREO DEL SUBSUELO . . . . .	18
IV.1 Trabajos de campo . . . . .	18
- Pozos a cielo abierto . . . . .	19
- Sondeos de penetración estándar . . . . .	20
- Penetración cónica . . . . .	22
- Sondeos de muestreo inalterado -- con tubos de pared delgada. . . . .	24

- Sondeos de rotación con extrac-	
ción de núcleos . . . . .	24
IV.1.2 Instrumentación . . . . .	25
IV.2 Ensayes de laboratorio. . . . .	25

CAPITULO V

ESTRATIGRAFIA Y PROPIEDADES DEL SUBSUELO . . . . .	27
V.1 Trabajos de campo . . . . .	27
V.2 Ensayes de laboratorio . . . . .	29
V.3 Condiciones estratigráficas. . . . .	29

CAPITULO VI

TIPOS DE CIMENTACIONES . . . . .	40
VI.1 Definición . . . . .	40
VI.2 Factores que determinan la elección del tipo de cimentación . . . . .	40
VI.3 Cimentaciones superficiales . . . . .	40

CAPITULO VII

DISERO DE LA CIMENTACION DE LOS TANQUES EN CONDICIO- NES DINAMICAS . . . . .	45
VII.1 Asentamientos . . . . .	45
VII.2 Sismo . . . . .	54
VII.3 Capacidad de carga . . . . .	61
VII.4 Diseño del muro anular de concreto . . . . .	65

CAPITULO VIII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES . . . . .	69
BIBLIOGRAFIA . . . . .	71

## CAPITULO I

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

En la construcción de cimentaciones, por lo regular se recurre al empleo de cimentaciones superficiales para cualquier caso de estructura y en forma específica en tanques verticales de almacenamiento atmosférico, ya que en la mayoría de los casos resultan más económicas que las cimentaciones profundas; - aunque no siempre es posible realizarlo, debido a las condiciones que el subsuelo presenta, los factores económicos y las características propias de las estructuras.

Para proyectar la cimentación correctamente desde el punto de vista ingenieril, es decir que resulte lo más seguro y - económico es necesario contar además de las características -- del proyecto (capítulo II de éste trabajo), con la información mínima necesaria que conduzca a conocer las propiedades físicas y mecánicas de los suelos sobre los que descansará la estructura; datos que se obtienen mediante la exploración y muestreo del subsuelo, que comprende investigaciones de campo y laboratorio. En el capítulo IV se dan a conocer los métodos más adecuados para llevarse a cabo estos estudios.

En el capítulo V se proporcionan los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio, con muestras obtenidas en campo para la cimentación de los tanques de almacenamiento.

En el capítulo III se definen los tanques más comunes en Petroleos Mexicanos, su uso y características.

Los factores que influyen en la selección de las cimentaciones; ventajas que presentan las cimentaciones superficiales y su uso siempre y cuando lo ameriten las condiciones del subsuelo, lo mencionamos en el capítulo VI.

El diseño de la cimentación se lleva a cabo en el capítulo VII.

Aparentemente los tanques son estructuras de relativa poca importancia en comparación con otras obras en la industria petroquímica, sin embargo tienen características particulares, que hacen que el ingeniero civil especializado en cimentaciones, logre sustanciales economías con un buen estudio del subsuelo y un diseño basado en experiencias anteriores.

Un tanque de almacenamiento deberá ser diseñado, proyectado y construido bajo las más estrictas normas, de tal manera que garantice hermeticidad, verticalidad, redondez y capacidad de contención y ubicarse sobre una cimentación confiable.

La forma y tipo de tanque, así como la capacidad para almacenamiento del petróleo, sus derivados, agua y otros depende del producto por almacenar.

## CAPITULO II

### GENERALIDADES DEL LUGAR Y PROYECTO

#### II.1 INTRODUCCION

El descubrimiento en el sureste de México de los yacimientos de petróleo en los estados de Chiapas y Tabasco ha generado una serie de actividades tales como la perforación de pozos petroleros para el desarrollo de nuevos campos, así como las instalaciones de producción de petróleo crudo y gas asociado, las cuales consisten fundamentalmente de líneas de recolección de pozos, baterías de separación de petróleo crudo, estaciones de compresión, gasoducto, oleoducto y sistemas de recuperación secundaria.

En las baterías de separación, el petróleo crudo es separado del gas asociado; posteriormente el petróleo crudo es tratado en plantas deshidratadoras y desaladoras en donde se elimina el agua y la sal que contiene para su funcionamiento y tratamiento y obtención de los productos comerciales como la gasolina, querosinas, diesel, combustóleo.

El gas separado en las baterías es comprimido y enviado a los complejos petroquímicos, como lo son Cangrejera Pajaritos, Cosoleacaque, Morelos y otros; donde los hidrocarburos son tratados para eliminar sus impurezas y fraccionado posteriormente en Metano, Etano, Propano, Butano, Hexano, Isopetano y gasolina natural.

De los complejos mencionados el "Morelos" se encuentra ubicado en la región más importante en cuanto a producción de petroquímicos básicos del petróleo. Tiene la finalidad, el mejoramiento de los recursos no renovables como son; los hidrocarburos del petróleo y específicamente los gases residuales de las plantas origénicas, localizadas en el sureste del país. Junto con los complejos de Cosoleacaque, Pajaritos, Cangrejera y Refinería Lázaro Cárdenas, constituyen uno de --

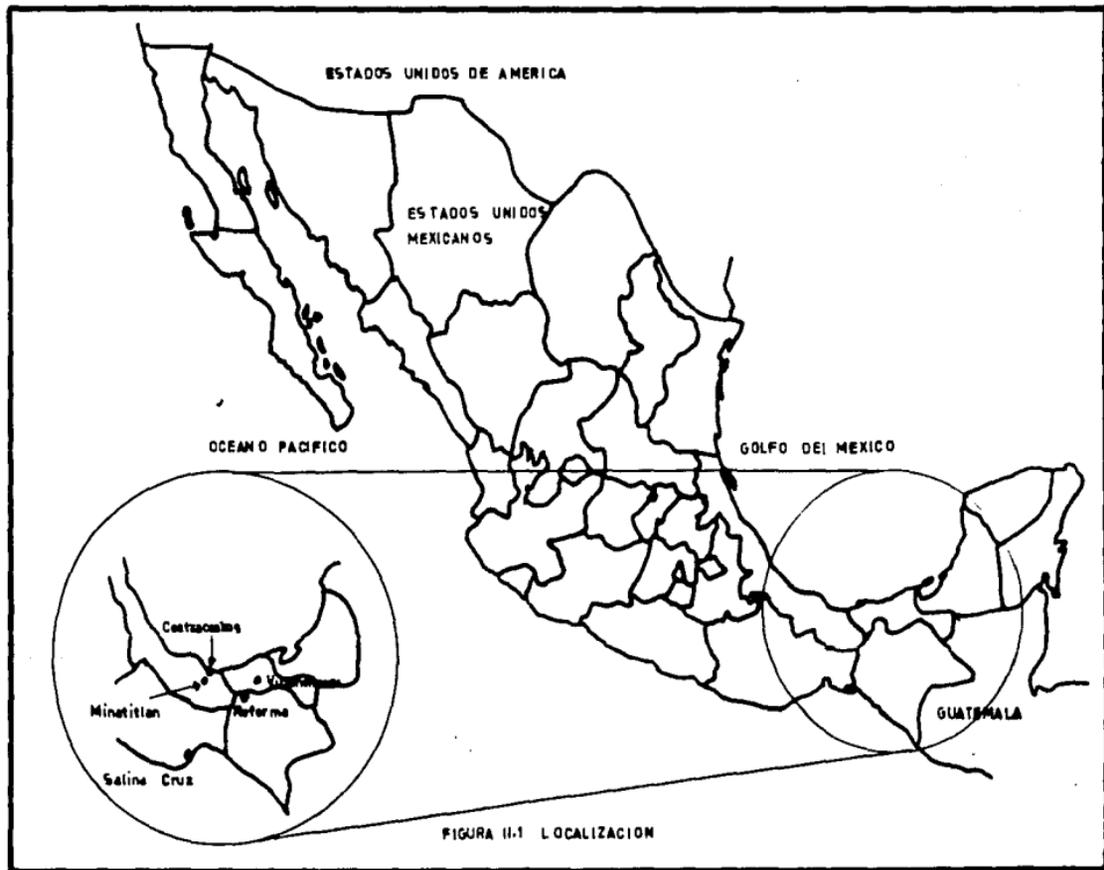
los polos más importantes dentro del desarrollo industrial de México. Dicha actividad ha creado centros de desarrollo económico, político, social y cultural en la República Mexicana. Algunos de esos polos son Coatzacoalcos, Minatitlán, Cosoleacaque y Nanchital en el estado de Veracruz; Villahermosa y ciudad Pemex en Tabasco; Salina Cruz en Oaxaca, así como Reforma en Chiapas. La localización de la zona mencionada y de las ciudades se muestran en la figura II.1

## II.2 PRODUCTOS DERIVADOS DEL PETROLEO.

Desde épocas remotas el petróleo ha sido utilizado de diversas formas por los pueblos. En la Biblia aparece con el nombre de betún y se menciona que Noé lo utilizó como impermeabilizante para proteger y calafatear su arca, los babilonios y asirios lo empleaban en sustitución de aceite vegetal y como cemento en sus construcciones; los árabes y hebreos lo usaban como finos medicinales y los egipcios en sus prácticas de embalsamamiento y en la decoración de sus tumbas.

Actualmente se emplea como materia prima para diversas industrias y su uso se ha multiplicado a tal grado que en nuestra vida diaria estamos en continuo contacto con él. Como evidencia de esto podemos mencionar que para preparar la alimentación usamos gas como combustible; para la transportación en la ciudad, o fuera de ella necesitamos gasolina, diesel, turbosina, gas avión y aceites lubricantes; en la elaboración de prendas de vestir se utilizan fibras sintéticas, poliéster y nylon en la decoración de hogares y oficinas requerimos pinturas, tapices y locetas para piso.

También a través del petróleo se elabora una gran diversidad de productos, entre los que se cuentan; iluminantes, insecticidas básicos, productos para la farmacología y perfumería, impermeabilizantes, ácidos, azúfre, hule artificial, solventes y muchos otros que constituyen la materia prima indispensable de una gran diversidad de procesos industriales, fundamentalmente de las industrias químicas y petroquímica.



### II.3 LOCALIZACION.

El complejo petroquímico "MORELOS" se encuentra localizada en el sur del estado de Veracruz, a 8 km. de la ciudad de Coatzacoalcos sobre la derivación a Rabón Grande de la carretera 180 Coatzacoalcos--Villahermosa, en el ejido Pajaritos Veracruz. En la fig. II.2 se puede apreciar lo anterior. Sus colindancias son; al sur con el complejo petroquímico Pajaritos, Terminal Maritima, al Norte por el Golfo de México, al Este por el Ejido de Colorado y al Oeste por el río Coatzacoalcos.

El complejo petroquímico Morelos ocupa un área de 370 -- hectáreas y la fase constructiva tanto técnica como administrativa, se ha dividido en cinco grandes áreas que son; área administrativa, áreas de plantas de proceso y servicios auxiliares, área de Tanques, integración de plantas e integración de obras exteriores. La fig. II.3 nos muestra un plano general del complejo.

### II.4 VIAS DE COMUNICACION.

#### a) TERRESTRE.

Cuenta con un camino de acceso de 2 carriles y camellón al centro, se intercepta en el kilómetro 8 con la carretera federal 180 Coatzacoalcos -- Villahermosa; este acceso dará servicio además a la colonia de Gavilán de -- Allende, al C.P. Pajaritos, C.P. Cangrejera Colonias habitacionales de Cangrejera y Pajaritos y Congregación de Allende.

En el cruce con la carretera 180, contará con un puente a desnivel. Ver. Fig. II.2.

#### b) FERREAS

Existen vías férreas, las cuales se conectan al ramal -- que va al C.P. Cangrejera y éste a su vez a las líneas de Ferrocarriles Unidos del Sur. El ramal que llega al

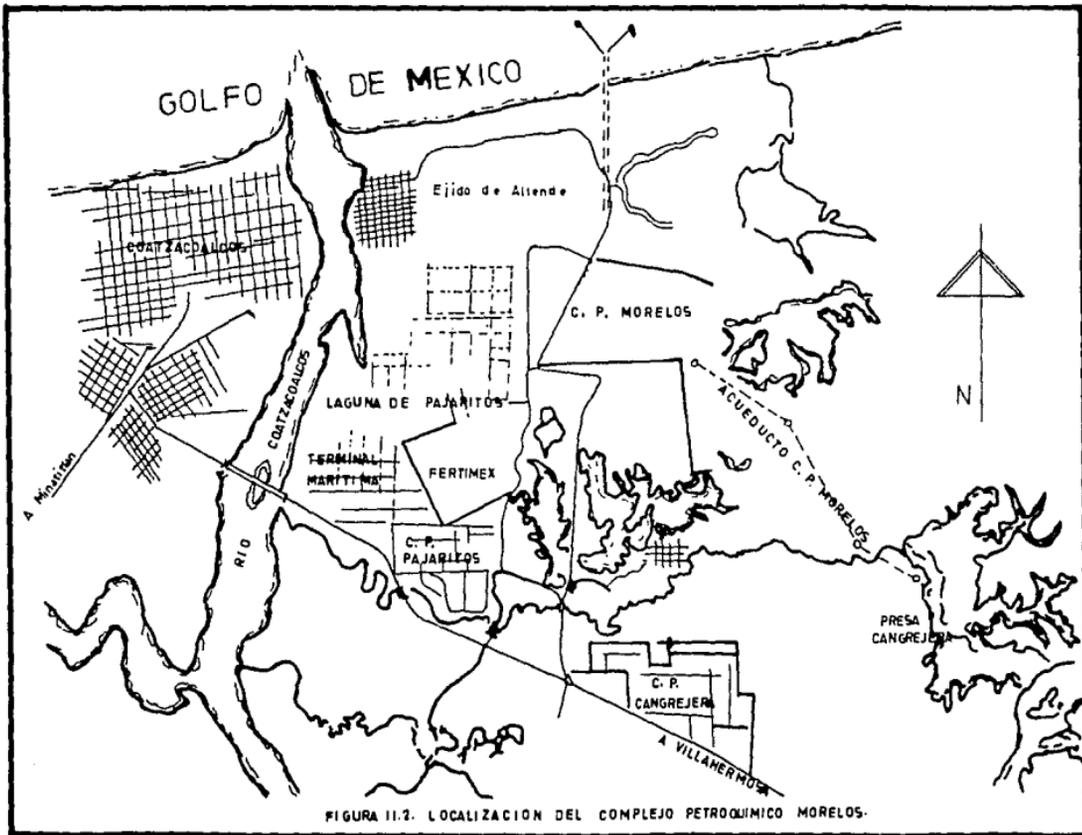
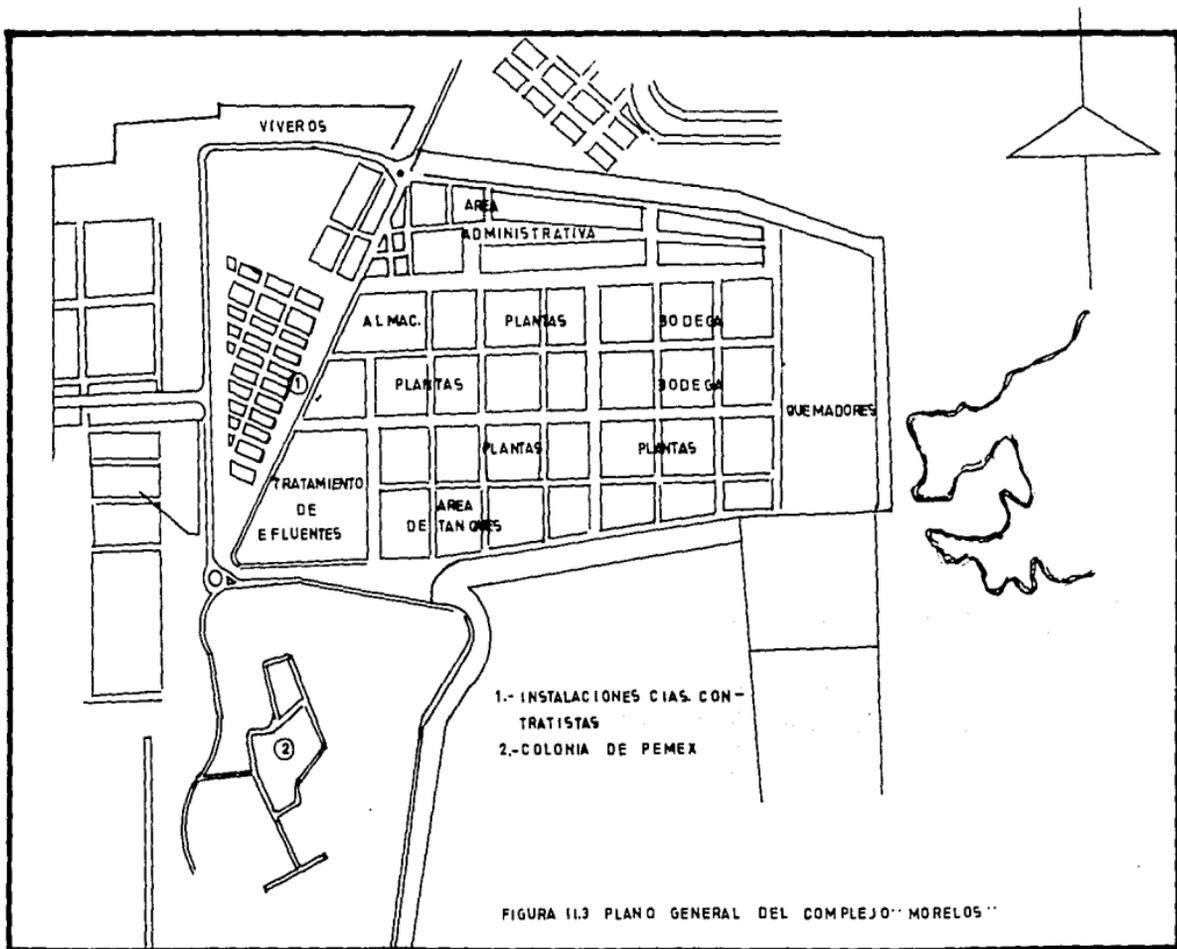


FIGURA 11.2. LOCALIZACION DEL COMPLEJO PETROQUIMICO MORELOS.



- 1.- INSTALACIONES CIAS. CON-  
TRATISTAS
- 2.- COLONIA DE PEMEX

FIGURA 11.3 PLANO GENERAL DEL COMPLEJO "MORELOS"

C.P. Morelos, recorre paralelamente con el camino de acceso en el Sur del complejo.

c) MARITIMA

Una gran parte de los productos del C.P. Morelos son - transportados por buquetanques que son cargados en la Terminal Marítima de Pajaritos. Para lo anterior el C.P. Morelos envía los productos a la Terminal por líneas de tuberías.

d) AEREA

Cuenta con Heliopuerto y también se dispone del servicio del Aeropuerto de Canticas, localizado en el Oriente de Coatzacoalcos.

## II.5 DATOS FISIOGRAFICOS Y GEOLOGICOS.

Fisiográficamente el área del C.P. Morelos se ubica en la cuenca Salina del Istmo cuya Geología se caracteriza por depósitos marinos. En ella el complejo queda en una zona de suelos residuales de color variado (anaranjado amarillento, café y gris), producto del interperismo; que consisten en arcillas, lutitas arcillosas y lutitas arenosas. El grado de alteración disminuye en la profundidad donde existen horizontes delgados fuertemente cimentados, identificados como conglomerados arcillosos.

## II.6 CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS

Se tiene que la temperatura máxima extrema es de 42 grados centígrados; la mínima de 10 grados, la máxima promedio de 30 grados centígrados, la mínima promedio de 21 grados centígrados y un promedio general de 26 grados. De los datos anteriores podemos calificar a la zona como muy calurosa.

Se tiene una precipitación pluvial media anual de 3100 mm; la dirección de los vientos reinantes es de NE a SO y la-

de los dominantes de NO a SE, la velocidad media de estos oscila entre 20 a 30 km/hr y la máxima de 200 km/hr, la humedad media mensual está al 82%, la atmósfera es muy salina y corrosiva. Los principales contaminantes son  $SO_2$ ,  $SO_3$  y Na Cl principalmente.

La altura sobre el nivel del mar es de 20 metros; se encuentra localizado en la zona sísmica, III.

## II. 7 SERVICIOS EN EL COMPLEJO PETROQUIMICO MORELOS

El agua es el elemento esencial y se requiere de este en forma líquida o vapor en cada una de las fases del proceso de las plantas que lo requieran. También se necesita dotar al C.P. Morelos de electricidad y aire.

Para el agua existen en C.P. Morelos de una planta de -- pretatamiento a la cual se integran dos tanques de 200 000 barriles, cuya función es almacenar y abastecer al C.P. Morelos de agua. En la fig. II.4 nos muestra un diagrama de la planta mencionada. También el complejo cuenta con una planta de tratamiento la cual proporcionará agua desmineralizada utilizada para producir vapor para los turbogeneradores principalmente. A continuación mencionaré las necesidades del complejo y de lo que son los servicios Auxiliares.

El consumo de agua para el complejo es de  $3 \text{ m}^3/\text{seg}$  y se alimenta a éste mediante 5 bombas a través de una línea de 54" de diámetro que vendrá de la bocatoma de la presa cangrejera y va directamente a la unidad de pretatamiento de agua que tiene una capacidad de 4 400 galones por minuto y consta de 4 clarificadores y 4 filtros de gravedad, en donde se eliminan la materia orgánica y sólidos en suspensión. El agua pretratada se distribuye, como agua de servicios a plantas y al sistema de tratamiento, que se encuentra integrado por las unidades siguientes; unidades de filtro de carbón activado y unidades desmineralizadoras de agua que tienen una capacidad de -- 2400 galones por minuto y constan de 4 intercambiadores de resinas catiónicas y cuatro resinas aniónicas, en donde se hará el intercambio iónico para eliminar minerales.

El agua tratada pasa a los desaeradores donde se elimina el oxígeno y otros gases que pudiera llevar; de ahí se envía - por medio de bombas de alta presión a las calderas para producir el vapor, que se utiliza para los turbugeneradores, plantas de proceso ya sea para calentar o sistemas o accionar turbinas.

Como se describió anteriormente en el C.P. Morelos se requiere de volúmenes bastante grandes de agua y para manejar -- estos se necesita. de obras tales como cárcamos de bombeo, casa de bombas y tanques de almacenamiento que permitan distribuir constantemente el líquido.

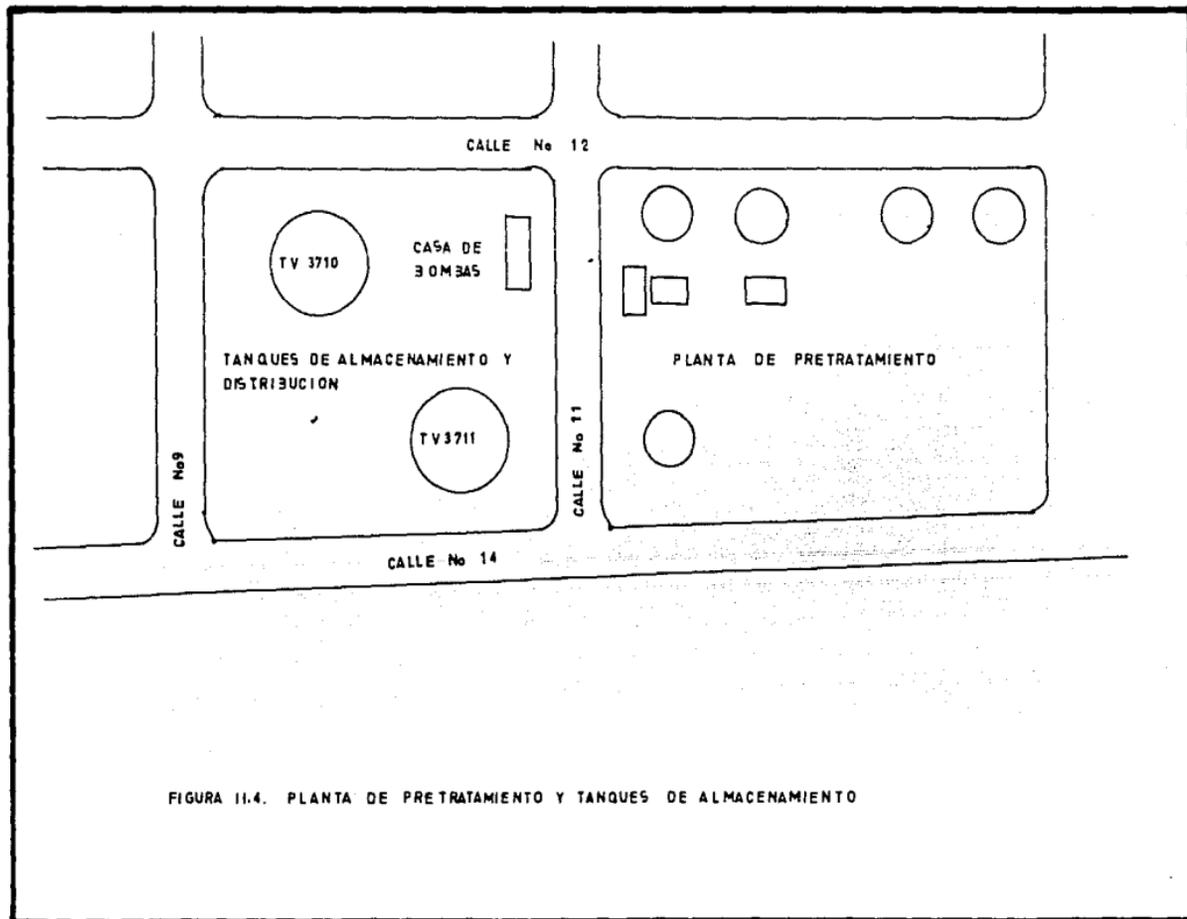


FIGURA 11.4. PLANTA DE PRETRATAMIENTO Y TANQUES DE ALMACENAMIENTO

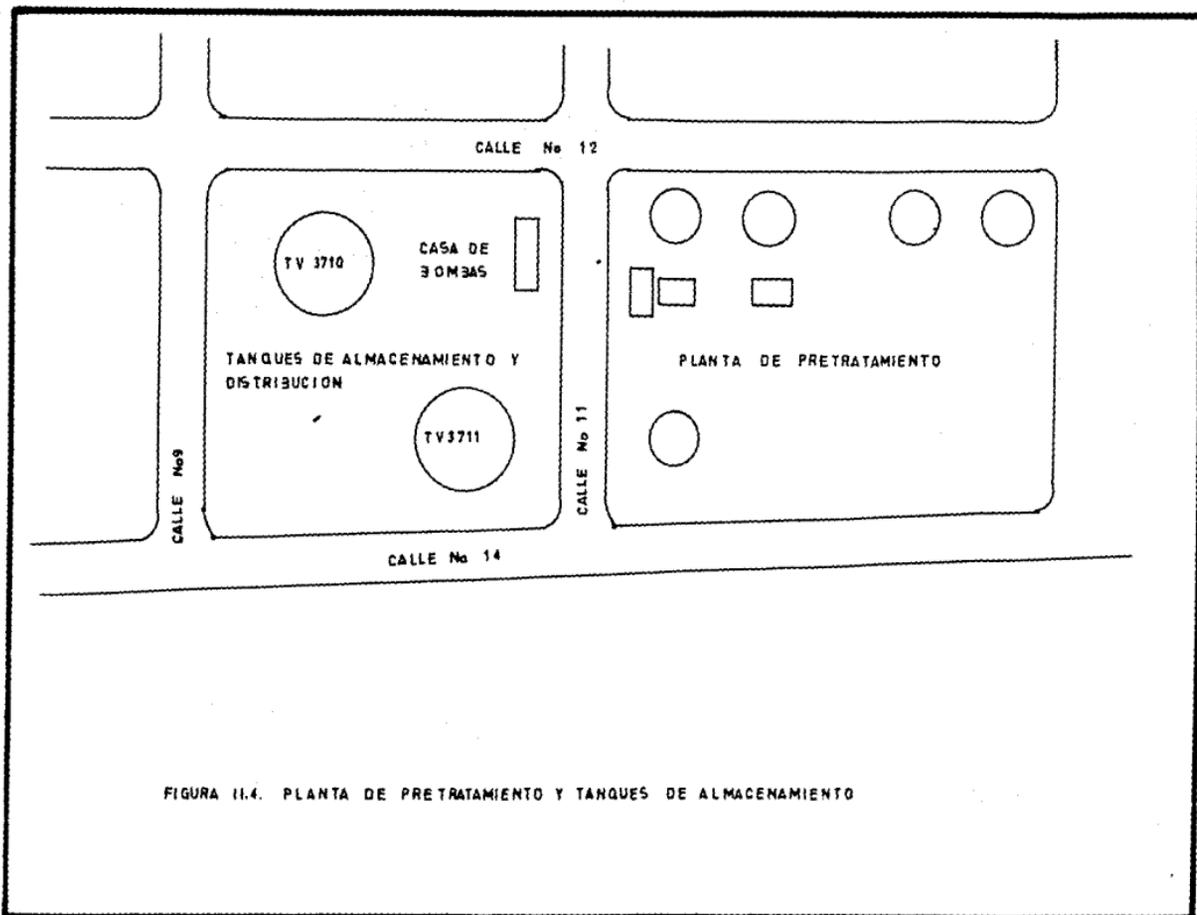
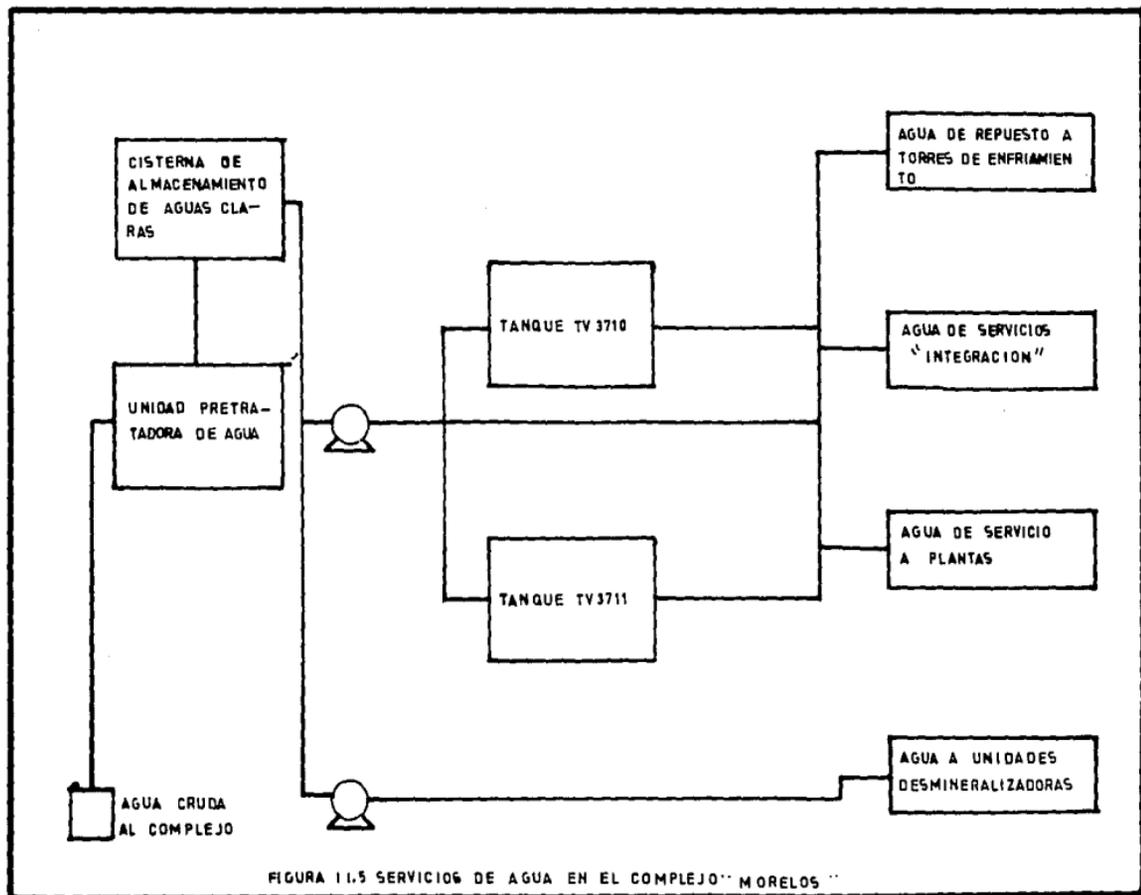


FIGURA 11.4. PLANTA DE PRETRATAMIENTO Y TANQUES DE ALMACENAMIENTO



## CAPITULO III

### TANQUES DE ALMACENAMIENTO

#### III.1 DEFINICION

En petróleos Mexicanos, se denomina con el nombre de tanques a los recipientes destinados a contener los productos de extracción, proceso y transporte.

#### III.2 TIPO DE TANQUES

Los procesos requieren el manejo y el almacenamiento de sólidos a granel, líquidos o gases, en tanques de construcción diversa, la cual depende del estado físico del material, sus propiedades físicas y químicas y las operaciones que se desee ejecutar con ellos.

Los tanques son partes básicas en el equipo de proceso - pueden ser consideradas como tanques o recipientes con diversas modificaciones, para poderlos usar cumpliendo con el servicio a que van a ser destinados.

Por ejemplo una torre de destilación debe ser considerada como un recipiente que contiene una serie de platos para poner en contacto a los líquidos con los vapores.

Otro ejemplo, un cambiador de calor puede ser considerado como un recipiente contenido una serie de tubos y mamparos que lo capacita para hacer intercambio de calor a través de las paredes de los tubos.

La consideración más importante en la selección de la forma o tipo del tanque es que cualesquiera que sea dé el servicio requerido de la manera más satisfactoria.

Claro que al desarrollar una forma de recipiente tienen que tomarse en cuenta otros criterios tales como las propiedades del material usado, los esfuerzos y la apariencia estética además de otros conceptos de resistencia.

Otro renglón importante es el costo del recipiente en relación con el servicio que va a prestar y su vida útil.

Normalmente el primer paso es seleccionar el tipo más -- adecuado para el servicio particular en cuestión.

Los factores que influyen son :

- a) La función que va a prestar el recipiente
- b) Su localización
- c) La naturaleza del fluido
- d) La temperatura de operación
- e) La presión de operación
- f) Volúmen de almacenamiento o capacidad de procesamiento.

De acuerdo a lo anterior los recipientes pueden clasificarse dependiendo de ;

- a) Su servicio funcional
- b) Su temperatura y presión de servicio
- c) Sus materiales de construcción
- d) Sus dimensiones o geometría del recipiente

Los tipos más comunes de recipientes pueden clasificarse de acuerdo con su geometría ;

- a) Tanques abiertos
- b) Tanques cilíndricos verticales de fondo plano
- c) Recipientes cilíndricos verticales y horizontales con extremos conformados.
- d) Esferas o recipientes esféricos modificados.

Los recipientes en cada una de estas clasificaciones se usan ampliamente como tanques para almacenar y como recipientes de proceso.

El rango de servicio para los diversos tipos de recipientes se sobrepone y es difícil distinguir las clasificaciones para todas las aplicaciones.

Sin embargo es posible hacer algunas generalidades en -- los usos de los tipos más comunes y corrientes de recipientes.

Grandes volúmenes de líquidos no peligrosos, pueden ser almacenados en estanques de poco valor o en tanques de concreto, madera o acero, claro de mayor valor.

Si el fluido es tóxico, combustible, o es un gas en la condición de almacenaje; o bien, si la presión es mayor que la atmosférica; se requiere de un sistema hermético.

Para almacenaje de fluidos a presión atmosférica comúnmente se usan tanques cilíndricos con fondo plano y techo cónico.

En donde el volumen requerido es grande y el almacenaje es a presión, se emplean esferas o esferoides, para volúmenes pequeños, pero también a presión, es más económico usar tanques cilíndricos con cabezales pre-formados.

En este trabajo se estudiarán los tanques cilíndricos -- verticales sin techo. Ya que las condiciones de proyecto así lo requiere.

### III.3 TANQUES CILINDRICOS VERTICALES SIN TECHO

Son los más baratos de los recipientes si se les compara con los cubiertos o con los herméticos de la misma capacidad y clase de construcción.

La decisión de si un recipiente debe ser abierto o cerrado depende del fluido que va a ser manejado y de la operación.

Grandes cantidades de soluciones acuosas de bajo valor pueden ser almacenados en estanques hechos con el más barato de los materiales; tierra.

Naturalmente que no todas las tierras pueden usarse para estanques de almacenamiento, se requiere un suelo arcilloso impermeable que forme un sello en el fondo y paredes.

Mientras más valiosos son los fluidos por almacenar y manejar se requieren recipientes más costosos.

Entre los recipientes abiertos de gran capacidad se tienen los clasificadores usados generalmente en plantas de tratamiento de agua potable y consisten en grandes tanques cilíndricos de acero o de concreto reforzado (pre esforzado), que pueden tener hasta 60 metros de diámetro.

Los recipientes abiertos más pequeños normalmente son de forma cilíndrica y se construyen de lámina de acero al carbón pero también pueden construirse como un barril; de madera y frecuentemente de concreto.

Existen otros materiales pero su aplicación se limita a resolver situaciones de corrosión o de contaminación.

En la industria de procesos, ya sea química, petrolera o petro-química, la mayor parte de los recipientes que existen se construyen de lámina de acero al carbón, por su bajo costo inicial y facilidad de construcción.

En algunos casos tales recipientes son enlaminados con plomo, hule, fibra de vidrio con poliéster, vitrificados o en general, con plásticos de diversas naturalezas para mejorar la resistencia a la corrosión.

Los tamaños y capacidades usuales en los tanques cilíndricos verticales que almacenan el producto a la presión atmosférica, se encuentran enumeradas en las normas 650 API -- (American Petroleum Institute). La tabla siguiente define las características de los tanques más usuales en Petroleos Mexicanos.

CAPACIDAD NOMINAL	CAPACIDAD REAL	DIAMETRO	ALTURA	PESO VACIO	
BARRILES	BARRILES	M <sup>3</sup>	M	M	TON,
5000	5049	802.88	9.65	10.97	22
10000	10100	1605.90	12.96	12.19	37
15000	15060	2394.54	17.68	9.75	57.2
20000	20572	3270.95	21.37	9.14	73.9
30000	30100	4785.90	22.35	12.19	101.0
55000	55950	8896.05	30.48	12.19	177.0
80000	80567	12810.24	36.58	12.19	274.6
100000	100462	15973.50	40.84	12.19	345.7
150000	160995	24008.21	45.72	14.63	476.0
200000	217526	34586.70	54.86	14.63	724.0
500000	526360	83691.28	85.34	14.63	1500.0

## CAPITULO IV

### EXPLORACION Y MUESTREO DEL SUBSUELO

#### INTRODUCCION

Para proyectar la cimentación correctamente desde el punto de vista ingenieril, es decir que resulte lo más segura y económica posible, es necesario contar, además de las características del proyecto, con la información mínima necesaria que conduzca a conocer las propiedades índice, físicas y mecánicas de los suelos sobre los que descanzará la estructura, lo que se obtiene mediante una exploración del subsuelo que debe comprender investigaciones de campo y muestreo para las pruebas de laboratorio.

Para que el estudio del subsuelo resulte adecuado y completo no debe caer en condiciones extremas, ni por falta de datos, ni por exceso de ellos. En virtud de esto el programa de estudios debe adaptarse a las condiciones del subsuelo in situ a las características de la estructura y la magnitud e importancia del proyecto del que forma parte.

#### IV.1 TRABAJOS DE CAMPO

Los trabajos de campo consisten en efectuar un reconocimiento preliminar del sitio, explorar e interpretar lo visto para posteriormente llevar a cabo el muestreo del suelo. Determinar sus propiedades y en dado caso una instrumentación.

El reconocimiento preliminar debe comprender una inspección visual, que ha de complementarse recopilando y revisando los datos que pueda haber respecto a las condiciones geológicas, en estudios anteriores realizados cerca del lugar y el comportamiento de estructuras cercanas.

#### IV.1.1 SONDEOS

Para que las propiedades índice y mecánicas de los suelos determinadas ya sea en el campo o laboratorio sean dignas de crédito es necesario que los trabajos de campo se realicen con el método apropiado para obtener muestras inalteradas.

LOS TRABAJOS MAS COMUNES DE EXPLORACION SON :

- a) Pozos a cielo abierto
- b) Sondeos de penetración estándar
- c) Sondeos de penetración cónica y de muestreo
- d) Sondeos de muestreo inalterado con tubos de pared delgada
- e) Sondeos de rotación con extracción de núcleos.

##### a) POZOS A CIELO ABIERTO

Este método consiste en excavar un pozo que tenga las dimensiones necesarias para que una persona pueda trabajar dentro de él.

Es de especial interés el cuidado que debe tenerse para distinguir la naturaleza del suelo in situ, y la que tiene el mismo una vez modificado por la excavación, es pues indispensable llevar siempre un registro de las características del subsuelo durante la excavación en él, que se anoten ciertas condiciones tales como el espesor de los estratos, la compacidad relativa de las arenas, la consistencia de las arcillas, el nivel de aguas freáticas y su clasificación de campo, siguiendo el método manual y visual (SUCS) Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

De estos pozos se toman muestras alteradas representativas y muestras cúbicas inalteradas, de unos 25 cm de lado las últimas se obtienen labrandolas con precaución,-

debiéndolas proteger de la pérdida de humedad, para lo cual se envuelven en manta e impermeabilizan con parafina.

Se puede considerar éste método como el más satisfactorio para conocer las características del subsuelo, aunque presenta el gran inconveniente de que no se puede llevar a una gran profundidad debido a la dificultad para controlar el flujo de aguas más allá del nivel freático. Por otro lado, aún ante la ausencia de agua freática, su costo y tiempo de ejecución se incrementa en forma muy considerable.

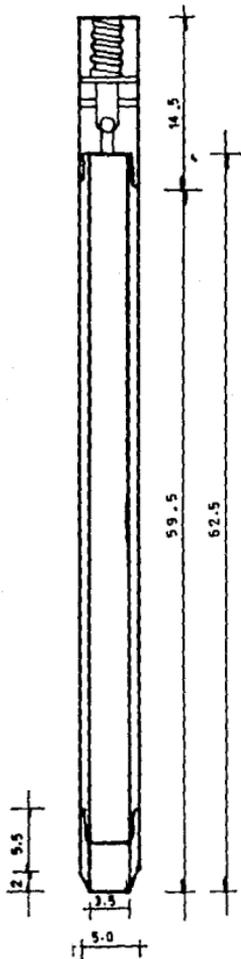
b) SONDEOS DE PENETRACION ESTANDAR

Este método tiene por objeto obtener muestras alteradas-representativas y estimar tanto la compacidad relativa de las arenas como la consistencia y resistencia a la compresión simple de las arcillas a partir de correlaciones empíricas existentes entre la resistencia a la penetración y las propiedades señaladas.

Cabe mencionar que la resistencia a la compresión de las arcillas obtenida a partir de la resistencia a la penetración, es inexacta como lo ha demostrado la experiencia, por lo cual debe usarse solo como norma de criterio y nunca como dato de proyecto.

La prueba se estandarizó debido a que se deseaba unificar el criterio de las correlaciones entre éstas y las propiedades de los suelos, de tal suerte que sus resultados pudieran ser fácilmente interpretados por cualquier técnico.

Esta prueba se ejecuta utilizando un muestreador estándar o tubo partido de dimensiones convencionales; 60 cm. (2') de longitud 5cm (2") de diámetro exterior y 3.5 cm. (13/8") de diámetro interior (ver fig. IV.1). La prueba



ACOTACIONES EN  
CENTIMETROS

FIG. IV.1. PENETROMETRO ESTANDAR

consiste en hincar el muestreador con la energía dinámica de un martinete de 63.5 kg (140 lb) y altura de caída libre a 75 cm (30"). El muestreador se hace avanzar en tramos de 60 cm (2') expresandose la resistencia a la penetración por el número de golpes necesarios para hincar -- los 30 cm intermedios, éste criterio se considera porque en los 15 cm superiores su resistencia ha disminuido por efectos de lavado y en los 15 cm inferiores la fricción y los efectos de hincado aumentan la resistencia.

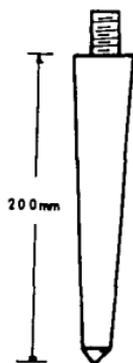
c) PENETRACION CONICA

Estos métodos consisten en hacer penetrar una punta cónica en el suelo y medir la resistencia que el suelo ofrece. Existen diversos tipos de conos y en la fig. IV.2 aparecen algunos tipos.

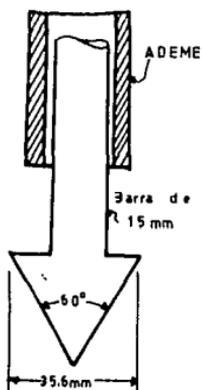
Dependiendo del procedimiento para hincar los conos en el terreno, estos métodos se dividen en estáticos y dinámicos.

En los primeros la herramienta se hinc a presión, medida en la superficie con un gato apropiado; en el segundo el hincado se logra a golpes dados con un peso que cae.

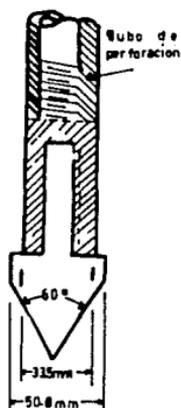
En la prueba dinámica puede usarse un penetrómetro del tipo c de la fig. IV.2, atornillado al extremo de la tubería de perforación, que se golpea en su parte superior de un modo análogo al descrito para la prueba de penetración estándar. Es normal usar para esta labor un peso de 63.5 kg con 76 cm de altura de caída. También ahora se cuentan los golpes para 30 cm de penetración de la herramienta. Estas pruebas presentan la enorme ventaja de que la exploración se puede hacer en forma rápida ya que no presenta el problema de sacar repetidamente el aparato para sacar muestras.



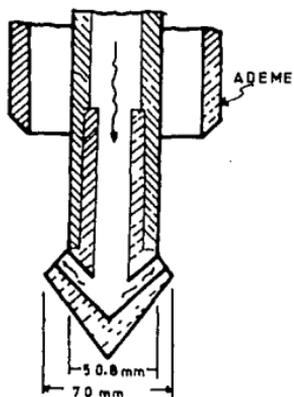
( a )



( b )



( c )



( d )

FIGURA IV.2. PENETROMETROS CONICOS

- a) Tipo Danés
- b) Tipo Holandés
- c) Tipo para ensayo dinámico
- d) Tipo de inyección

d) SONDEOS DE MUESTREO INALTERADO CON TUBOS DE PARED DELGADA

Los sondeos con tubos de pared delgada tiene por finalidad obtener muestras inalteradas; éste método se utiliza cuando se requiere información respecto a las propiedades mecánicas y que por el grado de alteración en el muestreo debe reducirse al mínimo. El grado de la muestra depende de las dimensiones del muestreador y del método que se emplea para hincarlo, se recomienda que el hincado sea rápido y a una presión estática constante. El grado de alteración para un diámetro dado de muestra, depende de la relación de áreas del muestreador.

$$Ar(\%) = \frac{De^2 - Di^2}{De^2} \times 100$$

En la que De es el diámetro externo y Di el diámetro interno del muestreador.

La experiencia recomienda para la realización de estos sondeos, utilizar muestreadores de pared delgada tipo Shelby, preferentemente de 10 cm (4") de diámetro, ya que el grado de alteración es mínimo.

e) SONDEOS DE ROTACION CON EXTRACCION DE NUCLEOS

Cuando se tiene una masa rocosa y se desea obtener muestras de ella para conocer sus características, se emplea el método de rotación, utilizando broca de diamante y/o de carburo de tungsteno; según la dureza de la roca.

Las velocidades de rotación son variables dependiendo del tipo de roca que se ataque, en cualquier caso se hace necesario inyectar agua para evitar se eleve en forma considerable la temperatura y extraer el material de recorte a la superficie.

Una vez que el barril muestreador ha penetrado en la roca toda su longitud, debe extraerse el núcleo, separándolo de la matriz imprimiéndole mayor velocidad de rotación.

#### IV.1.2 INSTRUMENTACION

La instrumentación en el campo se utiliza para medir la presión de poro y los desplazamientos tanto verticales como horizontales y tiene por objeto informar sobre las condiciones de esfuerzo en que se encuentra la masa de suelo y su comportamiento después de aplicarse la carga.

La instrumentación se elige y proyecta de acuerdo a la propiedad que pretende medirse, así se tiene:

##### a) MEDICION DE DESPLAZAMIENTOS

Estas mediciones tienen por objeto proporcionar datos de asentamientos con respecto a puntos fijos localizados fuera del área de influencia de la estructura.

Los puntos auxiliares utilizados para la medición de desplazamiento son: bancos de nivel superficial, bancos de nivel profundo e inclinómetros

##### b) MEDICION DE PRESION DE PORO

Determinar la presión intersticial del suelo en campo es muy importante, ya que a partir de su medición se puede estimar como se distribuyen los esfuerzos efectivos. Estas mediciones se hacen valiéndose de aparatos llamados piezómetros; instrumentos que se instalan a la profundidad donde se desea medir la presión de poro.

#### IV.2 ENSAYES DE LABORATORIO

Para conocer la estratigrafía y las propiedades índice y

mecánicas de los suelos es necesario realizar algunas pruebas de laboratorio.

Las propiedades índice que se deberán determinar son: - contenido de agua y clasificación, según los procedimientos - del SUCS, lo que implica determinar su distribución granulométrica, límites de consistencia, relación de vacíos, densidad de sólidos, etc.

Los ensayos que son necesarios para determinar las propiedades mecánicas del suelo son: pruebas de resistencia, - pruebas de deformabilidad y pruebas permeabilidad.

Para determinar las características de resistencia, se - hace necesario realizar pruebas de compresión simple o triaxiales, dependiendo del tipo de suelo y las condiciones mecánicas a que estará sujeto el mismo.

Por ejemplo si el suelo es una arcilla y el tanque se va a llenar rápidamente, se programará una prueba triaxial rápida, si el tanque será llenado con lentitud se realizará una - prueba triaxial lenta.

Para determinar las características de compresibilidad - de los suelos finos, serán necesarios ensayos de consolidación unidimensional, mediante los cuales se estimarán la magnitud y el tiempo en que se desarrollarán las deformaciones - al modificar las condiciones de esfuerzo del suelo.

En el capítulo siguiente se describen los trabajos de -- campo y las pruebas de laboratorio necesarios para determinar las características del subsuelo y los parámetros utilizados - para el diseño de la cimentación.

## CAPITULO V

### ESTRATIGRAFIA Y PROPIEDADES DEL SUBSUELO

#### INTRODUCCION

Para diseñar la cimentación de una obra civil o una estructura de tierra, el proyectista necesita conocer la estratigrafía y propiedades del subsuelo, este conocimiento se obtiene a través de exploración, obtención de muestras y pruebas de laboratorio.

Se presenta a continuación los resultados del estudio del subsuelo efectuado, con objeto de definir el tipo de cimentación a usar en los tanques.

#### V.1. TRABAJOS DE CAMPO

Para determinar las propiedades en los sitios de estudio se efectuaron 4 sondeos, 3 de tipo mixto y otro de penetración estandar. La localización de estos sondeos se presentan en la fig. V.1. Los perfiles estratigráficos se muestran en las siguientes figuras.

Las características generales de las exploraciones se presentan en la tabla siguiente:

EXPLORACION NUMERO	TIPO	LOCALIZACION		NBS (COTA)	PROFUNDIDAD DE EXPLORACION - (METROS)
		NORTE	ESTE		
1	P. Est.	1903	1505	28.20	10.27
2	Mixto	1827	1573	32.50	8.29
3	Mixto	2003	1510	37.47	25.17
4	Mixto	1969	1510	30.26	20.09

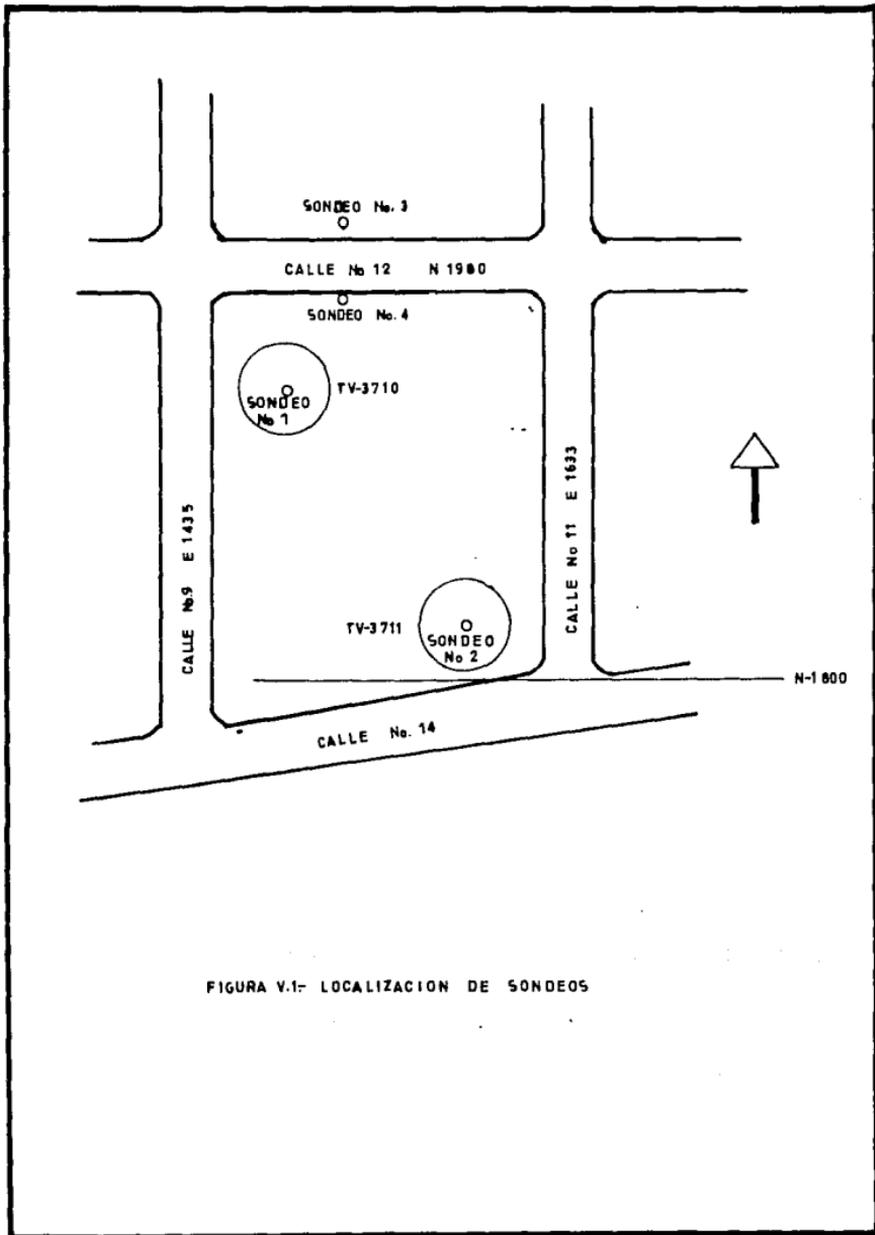


FIGURA V.1- LOCALIZACION DE SONDEOS

## V.2 ENSAYES DE LABORATORIO

A las muestras recuperadas en las exploraciones se les efectuaron las pruebas índice necesarias para su clasificación según (SUCS). Los resultados de éstos se presentan en los cortes estratigráficos incluidos en las figuras V.2, V.3, V.4, V.5; además se obtuvieron probetas para ensayarlas en pruebas de compresión simple y triaxial, mismas que se muestran en las figuras V.6.a y V.7.

La siguiente tabla presenta un resumen de los parámetros obtenidos en las muestras inalteradas recuperadas.

EXPLORACION	PROFUNDIDAD (m)	W%	e	Gw(%)	$\beta$	c	qu	$\gamma_m$
2	2.0 a 2.60	35.4	0.98	96.6	9°	8.0	-	1.82
3	12.36	31.1	0.92	92.0	31°	36.0	-	1.85
3	18.00	29.0	0.79	98.3	37°	37.0	-	1.94
3	22.40	28.0	0.79	95.7	25°	54.0	55	1.91
4	17.05	31.1	0.85	99.3	31°	46.0	192	1.95

### DONDE

W = contenido de humedad

e = relación de vacíos

Gw = grado de saturación

$\gamma_m$  = peso volumétrico en sitio

qu = resistencia en compresión simple

c = cohesión aparente

$\beta$  = ángulo de fricción

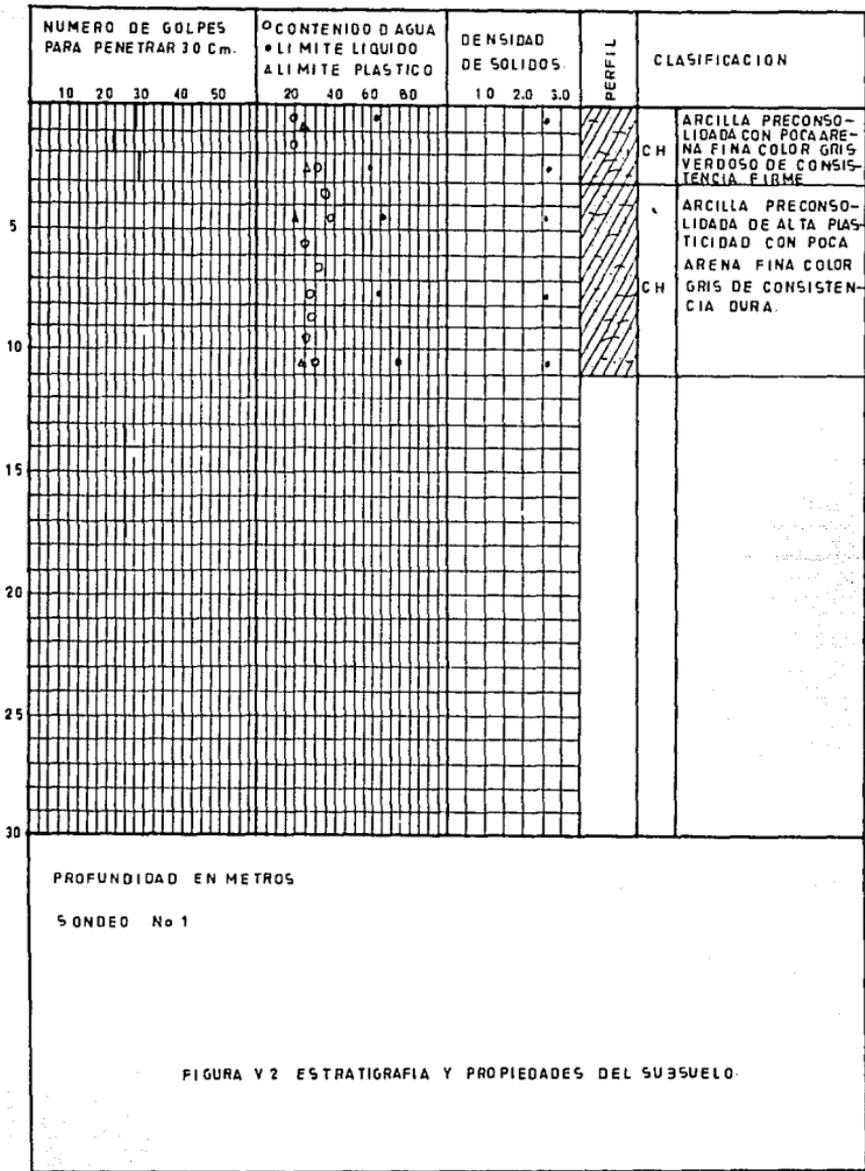
## V.3. CONDICIONES ESTRATIGRAFICAS

A partir del nivel (+ 23 ) y hasta la máxima profundidad explorada (12m), se detectaron arcillas de alta plasticidad-preconsolidadas, con poca arena fina, carbonato de calcio y fósiles marinos, color gris verdoso, de consistencia dura -

(C H), con resistencia a la penetración estándar promedio de - 90 golpes. (ver figura V.9).

De proyecto se determinó que el nivel de piso se localizará en la cota 23.

La fig. V.8 muestra la curva de compresibilidad, la cual se utilizará para el cálculo de asentamientos.



NÚMERO DE GOLPES PARA PENETRAR 30 Cm.	CONTENIDO AGUA				DENSIDAD DE SÓLIDOS	PESO VOL. SITO	PERFIL	CLASIFICACION Y DESCRIPCION
	◊ LIMITE LIQUIDO	▲ LIMITE PLASTICO	20	40				
10					1.5	1.6		
15							OH	ARCILLA POCO LIMOSA COLOR CAFÉ DE CONSISTENCIA MEDIA
20							OL	ARCILLA con arena fina y menor café de consistencia firme.
25							CH	arcilla con poca arena fina color café muy firme
30							ML	arcilla con poca arena fina color gris verdoso dura
35								
40								
45								
50								
55								
60								
65								
70								
75								
80								
85								
90								
95								
100								
105								
110								
115								
120								
125								
130								
135								
140								
145								
150								
155								
160								
165								
170								
175								
180								
185								
190								
195								
200								
205								
210								
215								
220								
225								
230								
235								
240								
245								
250								
255								
260								
265								
270								
275								
280								
285								
290								
295								
300								
305								
310								
315								
320								
325								
330								
335								
340								
345								
350								
355								
360								
365								
370								
375								
380								
385								
390								
395								
400								
405								
410								
415								
420								
425								
430								
435								
440								
445								
450								
455								
460								
465								
470								
475								
480								
485								
490								
495								
500								

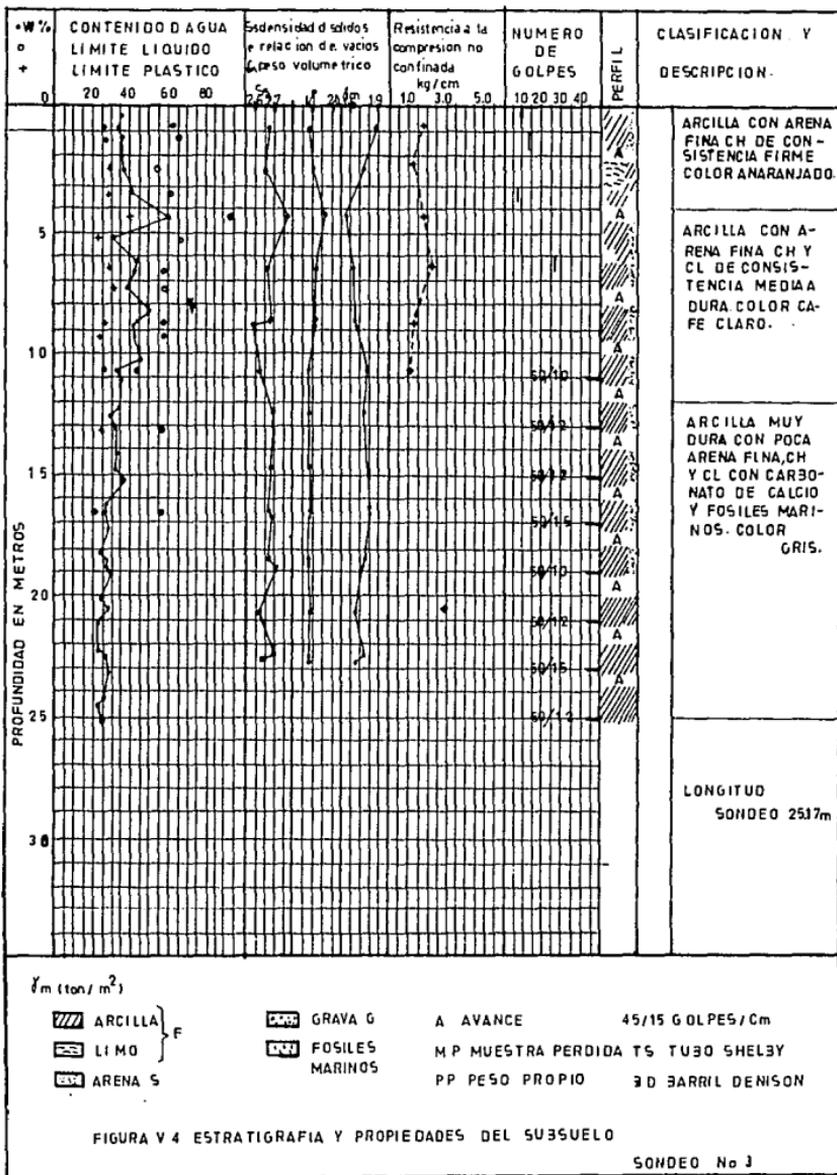
NAF=7.20

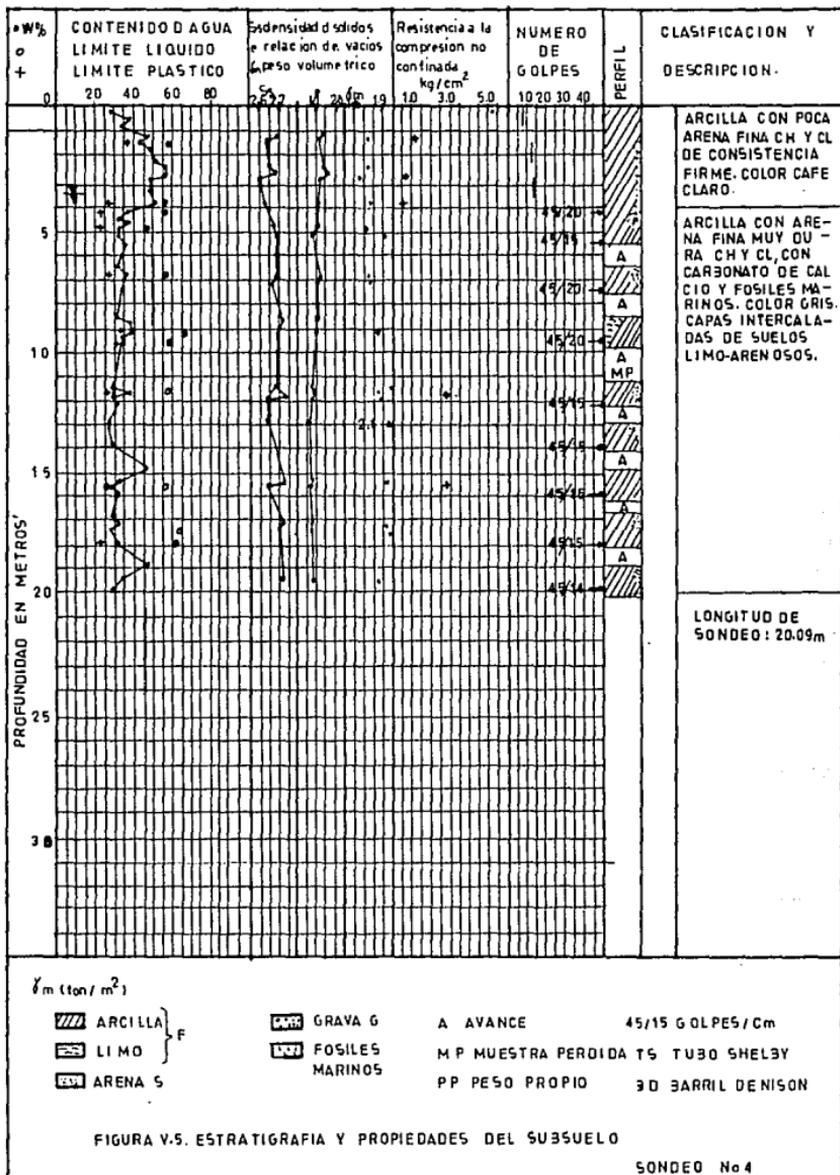
NPT + 23

TS=TUBO SHELBY

SONDEO No 2

FIGURA V.3. ESTRATIGRAFIA Y PROPIEDADES DEL SUSSUELO.





PRUEBA	$w_i$ %	$w_p$ %	$p_i$	$p_p$	$G_i$ %	$G_p$ %	$f_3$ Kg/cm <sup>2</sup>	$f_1 - f_3$ Kg/cm <sup>2</sup>	$\gamma$ ton/m <sup>3</sup>	PARÁMETROS DE RESIST.
1	34.82		0.945		98.04		0.5	2.055	1.843	
2	34.27		0.966		96.84		1.0	2.917	1.843	$w = 99$
3	35.89		1.017		94.80		2.0	3.300	1.791	$c = 4$ (ton/m <sup>2</sup> )
4	36.80		1.005		97.50		4.0	3.467	1.815	

DESCRIPCION: ARCILLA CON ARENA FINA. COLOR CAFE AMARILLENTO

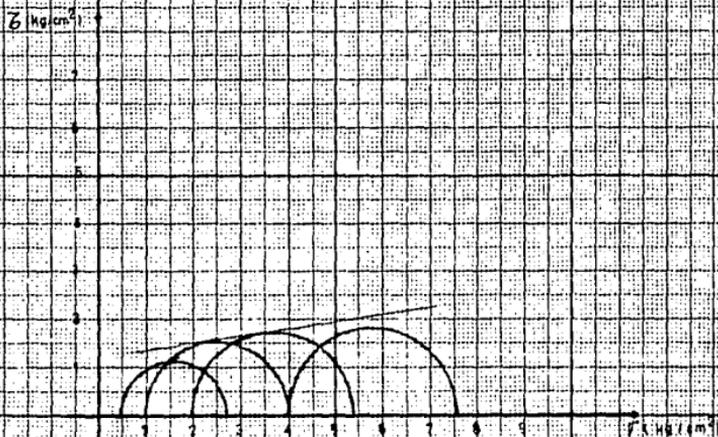


FIGURA V6. PRUEBA DE COMPRESION TRIAXIAL RAPIDA

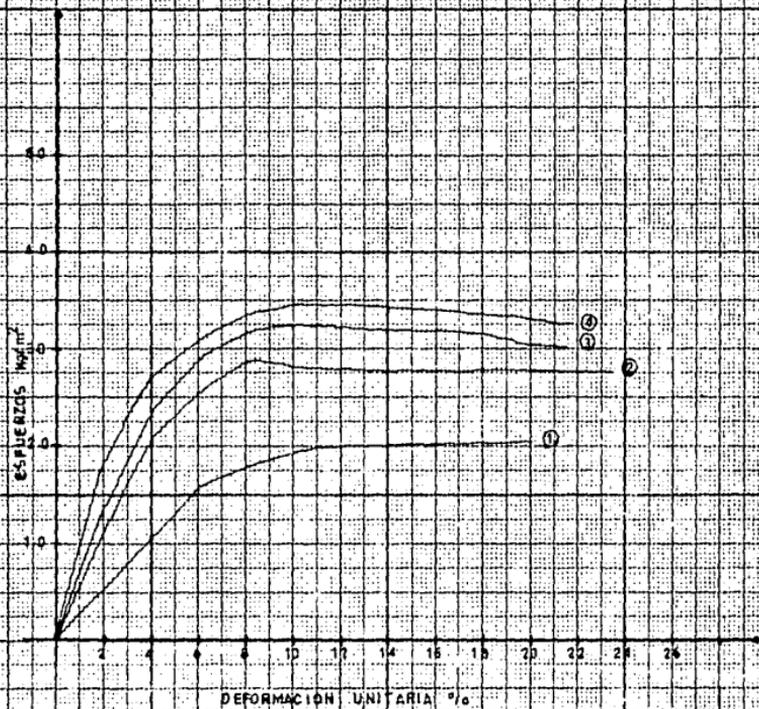


FIGURA V.6.4. CURVAS ESFUERZO-DEFORMACION

PRUEBA	$\bar{\sigma}_1$ Kg/cm <sup>2</sup>	$\bar{\sigma}_2$ Kg/cm <sup>2</sup>	$L_r$ %	$E_{50}$ Kg/cm <sup>2</sup>	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\sigma_1$ o/a	$\sigma_2$ o/a	$E_1$ o/o	$E_2$ o/o
1	1.0	1.42	1.82	150	2.65	1.16	—	31.0	—	10.0	—
2	2.0	4.71	1.42	125	2.69	1.10	—	43.2	—	9.9	—
3	4.0	6.84	1.4	101	2.69	1.23	—	49.8	—	9.5	—

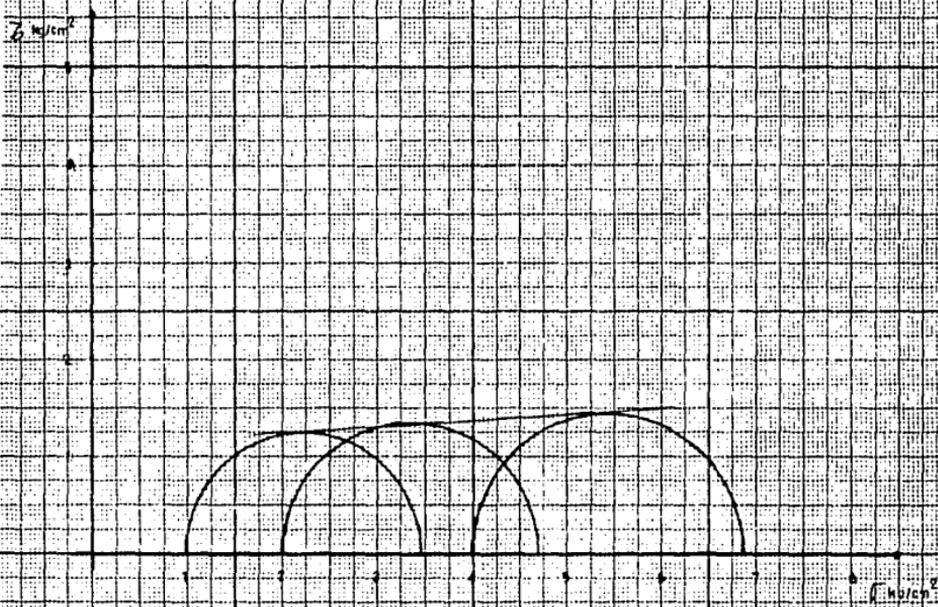


FIGURA 7. PRUEBA DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADA NO DRENADA

SONDEO	PROF(m)	$S_g$	$W_i$ (%)	$r_i$	$G_i$ (%)
4	8.75	2.72	37.6	1.070	95.6
4	15.05	2.72	31.2	0.868	97.8

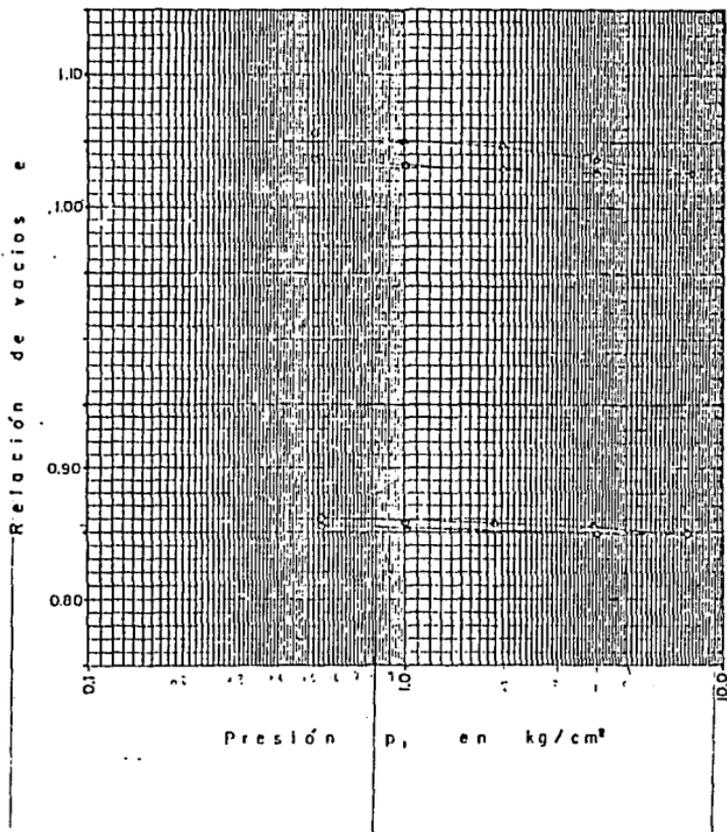
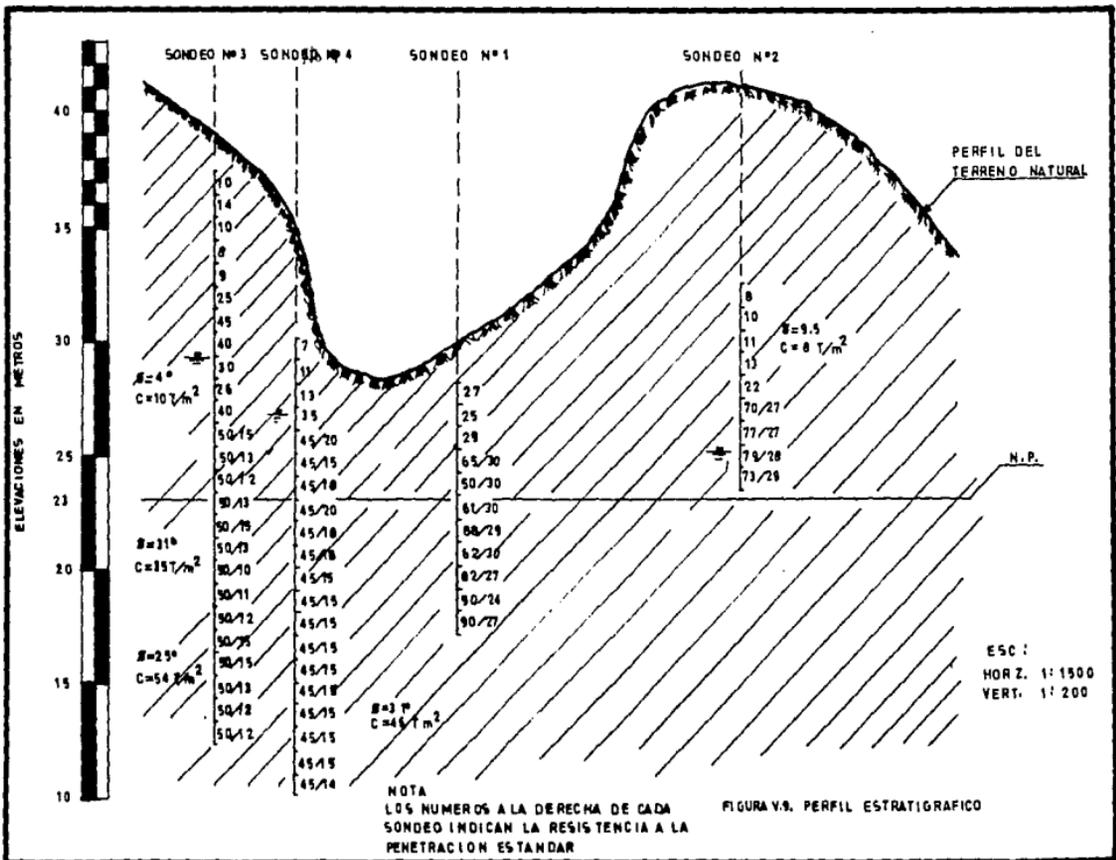


FIGURA V.6.—CURVA DE COMPRESIBILIDAD



## CAPITULO VI

### TIPOS DE CIMENTACIONES

#### VI.1 DEFINICION

El término cimentación se refiere al apoyo de toda estructura, y comprende tanto el terreno mismo como cualquier elemento que se emplee para transmitir las cargas al terreno natural de desplante. Es decir es todo aquello que se estudia con la finalidad de brindar un apoyo satisfactorio y económico a la estructura.

#### VI.2 FACTORES QUE DETERMINAN LA ELECCION DEL TIPO DE CIMENTACION.

Entre los factores principales que incluyen al elegir el tipo de cimentación se pueden citar: las características de la estructura, su destino, las condiciones del subsuelo y el procedimiento constructivo necesario para realizarla. Ejemplo de otros factores también importantes en la cimentación es la existencia de hundimientos regionales.

#### VI.3 CIMENTACIONES SUPERFICIALES

En base al estudio del subsuelo y a la experiencia del ingeniero, se ha determinado que el suelo en donde se desplanta la estructura tiene una resistencia tal que no se hace necesario la construcción de una subestructura que soporte al tanque, por lo que la cimentación se reduce a:

- a) Proporcionar un plano estable para soportar el tanque
- b) Limitar los asentamientos totales con la finalidad de hacerlos compatibles con los permitidos
- c) Asegurar un drenaje adecuado.

En estas condiciones las cimentaciones recomendables son del tipo superficial.

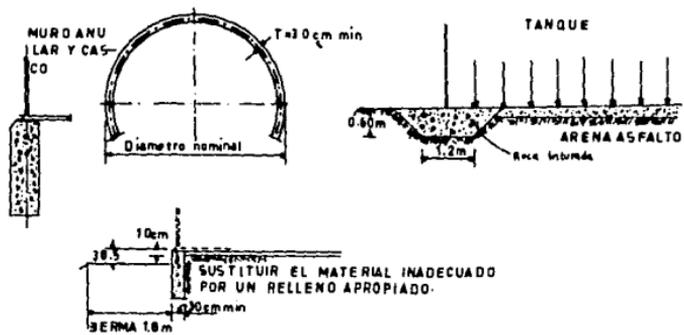
#### VI.3.4 CIMENTACION FORMADA CON TERRAPLEN

Este tipo de cimentación se utiliza para tanques pequeños y en suelos que tengan una alta capacidad de carga en los estratos superiores en relación a las cargas que transmite el tanque. La solución consiste en despalmar el terreno retirar el material inadecuado, reemplazandolo con un material controlado y compactado formando posteriormente sobre él, un terraplén de grava triturada y arena graduada.

#### VI.3.b. CIMENTACIONES DE TERRACERIAS CONFINADAS CON MURO ANULAR DE CONCRETO REFORZADO.

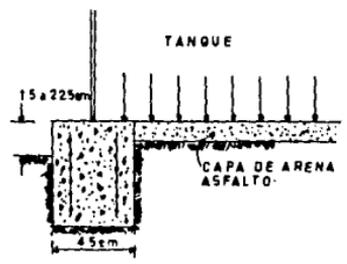
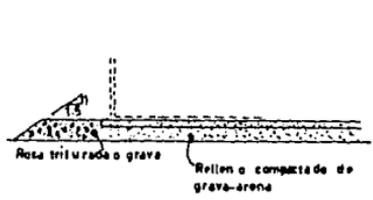
Los tanques grandes los cuales imponen fuertes cargas -- sobre la cimentación y para evitar asentamientos diferenciales no continuos en el perímetro del tanque, es recomendable apoyar al tanque en un muro anular de concreto, que al mismo tiempo confine las terracerías compactadas que, rellenan el interior del anillo. En la fig. (VI.1) se muestran los tipos de muros anulares. Este muro anular de concreto presenta las siguientes ventajas sobre las de terracerías sin anillo.

- a) La erección del tanque necesita una superficie de trabajo nivelada alrededor del borde del recipiente
- b) Distribuye de modo uniforme la carga concentrada de la envolvente sobre el piso bajo el tanque.
- c) Da un mejor apoyo para nivelar el desplante del tanque y preserva su contorno durante la construcción.
- d) Por efecto de la concentración de carga que hay en el perímetro de las paredes del tanque, se presenta el fenómeno llamado "cortante de Borde" o consolidación bajo la carga (fig. VI.2). Aún cuando el asentamiento del borde fuese uniforme alrededor del perímetro del tanque, tal distorsión puede producir falla por flexión en la solda-



a) RECOMENDACIONES DEL API PARA MUROS ANULARES DE CONCRETO Y GRAVA Y ARENA

b) TÍPICO MURO ANULAR DE MATERIAL GRANULAR



c) TÍPICO MURO ANULAR DE CONCRETO REFORZADO.

FIGURA VI.1 CIMENTACIONES A BASE DE MUROS ANULARES.

dura que liga la pared con el fondo.

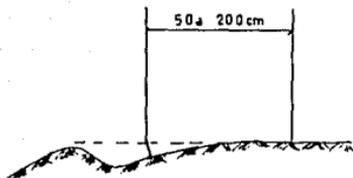


FIG. VI-2

- e) El mantenimiento en la orilla del tanque es menor en vista de que el anillo proporciona más resistencia a erosión y corrosión.

El American Petroleum Institute (API) recomienda el uso de anillos de concreto para todo tipo de tanques, sin embargo considera necesario su uso en tanques con cúpula flotantes y aquéllos con cúpula con diámetro de 30 mts. o más alturas de más de 12 mts. según el mencionado Instituto el anillo debe cumplir con los siguientes requisitos:

- a) Se desplantará sobre terreno firme y a nivel.  
b) Se tomarán las precauciones necesarias para que facilite la nivelación de la base del tanque y preserve su contorno durante la construcción.  
c) Retendrá el relleno bajo el tanque y evitará pérdidas -- de material por erosiones y excavaciones adjuntas.  
d) Servirá de barrera a la humedad para proteger el fondo.  
e) Al diseñar se dimensionará de un ancho tal que la concetración de carga más el propio peso no sobrepase el es-fuerzo permisible de trabajo del terreno al nivel de degplante.  
f) Es aconsejable no construir el anillo de grueso menor -- que 30 cm y que el diámetro a la línea centro sea igual al diámetro nominal del tanque.  
g) El anillo se reforzará para resistir las presiones inter

nas provocadas por la terracería de relleno.

### VI.3.c. MEJORAMIENTO DEL SUBSUELO

Cuando las áreas de tanques se localizan sobre estratos delgados de suelos débiles y compresibles (1.5 a 6.0 mts.) la solución obvia son los pilotes, empero, es posible obtener soluciones más económicas al usar otras cimentaciones.

#### VI.3.c.1. CAMBIO DE MATERIAL

Si el suelo superficial es poco resistente y relativamente delgado, es posible remover el material y sustituirlo con otro de mejores propiedades índice y mecánicas.

#### VI.3.c.2. CONSOLIDACION POR PRECARGA

En algunos casos es posible construir cimentaciones de -- tanques sin retirar las capas compresibles, por su exagerado -- espesor; si se tiene tiempo, antes de iniciar la construcción de los tanques, una solución muy práctica es la de colocar rellenos de sobrecarga, sobre los depósitos compresibles. La solubre-carga tiene dos propósitos; reducir los asentamientos que se presentarán al entrar el tanque en operación y aumentar la capacidad de carga del terreno.

#### VI.3.c.3. CONSOLIDACION CON AGUA CONTROLADA

Es posible tambien utilizar el tanque mismo como sobre-carga, esto es; despues de construirlo, las cargas de almacenamiento son aumentadas en pequeños incrementos, cada uno de los cuales es mantenido por un cierto tiempo, hasta lograr la consolidación deseada, incrementando la resistencia del terreno.

## CAPITULO VII

### DISENO DE LA CIMENTACION DE LOS TANQUES EN CONDICIONES DINAMICAS

#### INTRODUCCION

La cimentación de una estructura, como todas las partes de ésta debe ser estable y económica. La primera condición se cumple con los siguientes requisitos básicos.

- a) Ser segura contra fallas por resistencia al corte del suelo de desplante.
- b) No causar deformaciones, asentamientos o emersiones de magnitud mayores a las tolerables por la estructura y obras colindantes.
- c) Localizarse de forma tal que quede protegida contra la acción de agentes externos.

Los tres requisitos deben satisfacerse aún cuando sean independientes entre sí. Por ejemplo, una cimentación desplantada a una profundidad suficiente para no ser afectada por agentes externos y segura contra fallas por resistencia al esfuerzo cortante del subsuelo, no necesariamente presenta un comportamiento apropiado en cuanto a desplazamientos verticales.

La mayoría de las fallas de cimentaciones se deben a asentamientos excesivos que son intolerables por la estructura que soportan. Son menos frecuentes las fallas por resistencia al corte del subsuelo, ya que para llenar este requisito usualmente se aplican márgenes de seguridad amplios.

#### VII.1 ASENTAMIENTOS

Los asentamientos respecto a puntos de la superficie del terreno circundante no afectados por la construcción no deberán alcanzar una magnitud tal que ocasionen dificultades en la operación del tanque. El máximo asentamiento total permisible se fijará tomando en cuenta las características del tanque y la flexi

bilidad del sistema de alimentación del mismo; para tanques con  
truidos con acero ASTM-A-36, ASTM 283-c y 283-D, los máximos asen  
tamientos permisibles serán los indicados en la tabla VII.1.1

TABLA VII.1.1 MAXIMOS ASENTAMIENTOS PERMISIBLES

Tipo de asentamiento	Máximo asentamiento
Máximo asentamiento total en el perímetro	30 cm
Máximo asentamiento diferencial en el fondo	5 cm en 10 metros

#### VII.1.1 DETERMINACION DE LOS ASENTAMIENTOS EN EL TANQUE

Primeramente se determinarán las cargas a las que estará su  
jeto el suelo.

a) Peso de la estructura del tanque.

El tipo de tanque es sin tapa, por lo que el peso estará --  
formado por las placas de fondo del tanque y las placas del  
casco del mismo. ver fig. VII.1.2

En la siguientes tabla se resumen los pesos de la estructu-  
ra.

PIEZA	PESO TOTAL (kg)
anillo No. 1	104153
anillo No. 2	93720
anillo No. 3	72971
anillo No. 4	52091
anillo No. 5	36450
anillo No. 6	26042
anillo de coronamiento	1863
sobre peso por descalibre	18110
fondo del tanque	125572
sobre peso por descalibre	5925

peso casco  $405\ 400 = 405.4 \text{ ton.}$

peso fondo  $131\ 500 = \underline{131.5 \text{ ton.}}$   
 $536.9 \text{ ton.}$

b) Peso del líquido almacenado.

$W_{liq} 1.0(34586.7) = 34586.70 \text{ ton.}$

c) Peso de la cimentación

Una buena aproximación del peso de la cimentación, es consi  
derar el 20% del peso total.

$W_{cim} 0.20 (536.9 + 34586.7) = 7024.72 \text{ ton.}$

Peso total

Peso del tanque ----  $536.9 \text{ ton.}$

Peso del líquido ---  $34586.7 \text{ ton.}$

Peso de la cim. ----  $\underline{7024.72 \text{ ton.}}$

$42148.32 \text{ ton.}$

Para calcular los asentamientos es necesario primero deter-  
 minar los esfuerzos a que va estar sujeto el suelo debido a las  
 cargas de la estructura. Los esfuerzos calculados se realizarán  
 utilizando la teoría de la Elasticidad, actualmente usada.

Tenemos que el esfuerzo promedio al nivel del terreno natu-  
 ral se obtiene dividiendo la carga entre el área de la siguiente  
 forma.

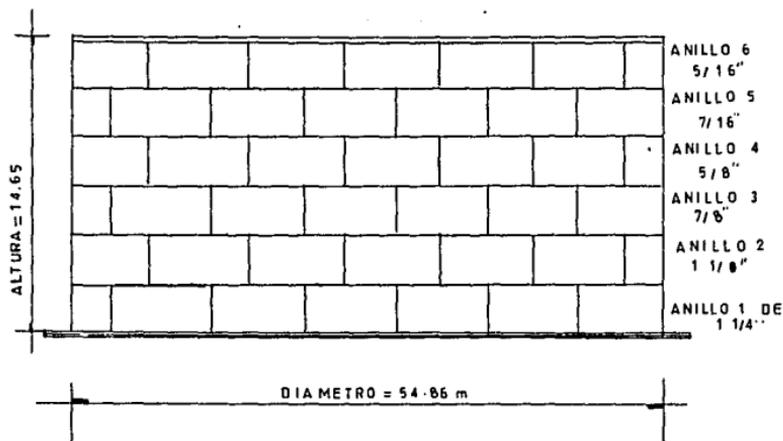


FIGURA VIII VISTA TANQUE DE 200 000 BARRILES.

$$\text{Esfuerzo} = \frac{42\,148.32 \text{ ton.}}{\sqrt{4}(54.86)^2} = 17.83 \frac{\text{ton.}}{\text{m}^2} = 1.78 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Será también necesario para aplicar la teoría, calcular los esfuerzos a los que está sujeto el suelo antes de la construcción del tanque.

Debido a que en proyecto, los tanques se desplantarán al nivel +23 como se muestra en la fig. V.9 del capítulo anterior. - Por éste motivo tendremos un asentamiento por descarga y otro -- por carga del tanque. A continuación presento los cálculos de -- los esfuerzos transmitidos por las cargas aplicando la teoría -- de la Elasticidad Boussines. Ver tabla VII.2. Obtenemos los es -- fuerzos al centro del tanque.

Tenemos de los datos anteriores:

$$V = 1.78 \text{ kg/cm}^2$$

$$D = 54.86 \text{ m}, \quad r = 27.443 \text{ m}$$

$$\mu_i = 0.0$$

z (m)	r/z	w	w <sub>0</sub>	z(kg/cm <sup>2</sup> )
0				1.78
2	13.71	1.78	0.999	1.78
4	6.86	1.78	0.997	1.77
6	4.57	1.78	0.989	1.76
8	3.43	1.78	0.977	1.74
10	2.47	1.78	0.960	1.71
12	2.28	1.78	0.929	1.65
14	1.96	1.78	0.906	1.61
16	1.71	1.78	0.871	1.55
18	1.52	1.78	0.834	1.48
20	1.37	1.78	0.795	1.41
22	1.25	1.78	0.756	1.35
24	1.14	1.78	0.713	1.27
26	1.05	1.78	0.672	1.20

Tabla VII.2. Esfuerzos transmitidos en el centro del tanque.

Con otros cálculos, también obtenemos los esfuerzos al centro y borde del tanque, esto es según la gráfica L. Jurgensen-Juárez Badillo, tomo II. Ver tabla siguiente.

PROFUNDIDAD	W	ESFUERZOS	
m	$\gamma_w / \text{cm}^2$	Centro del tanque	Borde del tanque
0	1.78	1.78	
0.036 D	1.78	1.76	1.58
0.037 D	1.78	1.74	1.068
0.109 D	1.78	1.69	0.979
0.146 D	1.78	1.67	0.890
0.182 D	1.78	1.66	0.870
0.218 D	1.78	1.64	0.801
0.255 D	1.78	1.53	0.780
0.291 D	1.78	1.51	0.712
0.328 D	1.78	1.44	0.694
0.364 D	1.78	1.41	0.676
0.401 D	1.78	1.32	0.658
0.437 D	1.78	1.25	0.623
0.474 D	1.78	1.23	0.610

La fórmula utilizada para calcular los asentamientos es la siguiente:

$$\Delta H = \frac{\Delta e}{1 + e_0} H$$

donde  $\Delta e = e - e_0$

H = espesor del estrato.

Para poder aplicar la fórmula anterior es necesario, calcular los diagramas de esfuerzos. Ver fig. VII.2 y fig. VII.3 -- con estos esfuerzos y los calculados en la tabla anterior, se entra a la curva de compresibilidad Fig. (V.8) del capítulo V -- para obtener la relación de vacíos pedida.

A continuación se presenta el cálculo:

Considerando el sondeo No. 3

SONDEO 4

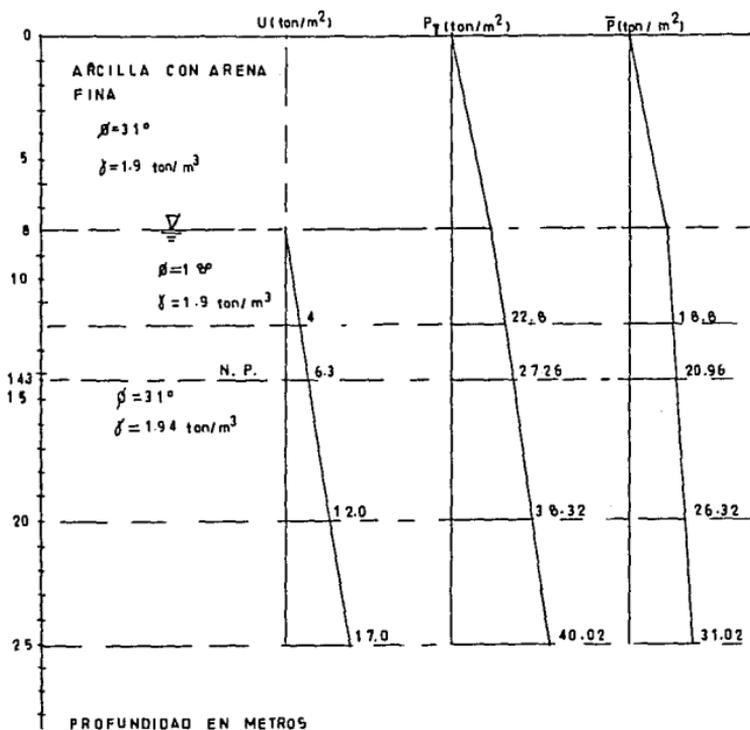


FIGURA VII.2. DIAGRAMA DE ESFUERZOS ANTES DE EFECTUAR EL RETIRO DEL MATERIAL.

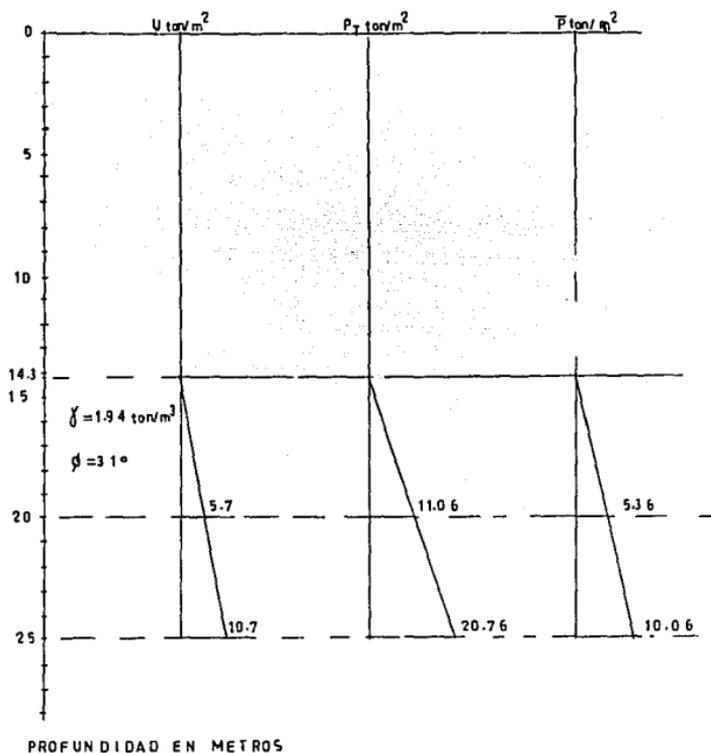


FIGURA VII.3. DIAGRAMA DE ESFUERZOS DESPUES DE RETIRAR EL SUELO AL NIVEL DE DESPLANTE DE LOS TANQUES

$$H = 10.87 \text{ m}$$

a) Asentamiento por descarga del material.

$$p_0 = 2.63$$

$$p = 0.53$$

$$e_0 = 0.837$$

$$e = 0.845$$

$$\Delta H = \frac{0.845 - 0.837}{1 + 0.845} (10.87) = 4.71 \text{ cm}$$

b) Por carga.

b.1 al centro

$$p_0 = 0.53 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$p = 2.29 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$e_0 = 0.845$$

$$e = 0.842$$

$$\Delta H = \frac{0.845 - 0.842}{1.845} (10.87) = 1.77 \text{ cm}$$

b.2 al borde

$$p_0 = 0.53 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$p = 1.51 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$e_0 = 0.845$$

$$e = 0.843$$

$$\Delta H = \frac{0.845 - 0.843}{1.845} (10.87) = 1.18$$

RESUMEN

centro 6.48 cm

borde 5.89 cm

Como podemos ver los asentamientos obtenidos son menores a los permisibles de la tabla VII.1, cumpliendo con este requisito.

## VII.2 SISMO

El análisis sísmico del presente estudio, se basa en los li-  
neamientos señalados por la referencia 6

## CLASIFICACION DE LAS ESTRUCTURAS

Según referencia 6 los tanques quedan comprendidos en las estructuras del grupo B y atendiendo a las características estructurales, los considera tipo 7.

## REGIONALIZACION SISMICA

Se supondrá el país dividido en las regiones que se muestran en el mapa de regionalización sísmica. En cada una de ellas la sísmicidad se considerará uniforme. Según fig. VII.2.1, Coatzacoalcos se encuentra en la zona B.

## MICRORREGIONALIZACION

Dentro de cada región las características sísmicas varían según la naturaleza del suelo. Todo sitio donde se proyecte erigir una estructura se clasifica en alguno de los siguientes tipos:

- a) Terreno firme (F) incluye roca sana o ligeramente interperizada, arcilla compacta o arena densa.
- b) Terreno compresible (C) se clasifica a su vez.
  - C1 - Terreno de compresibilidad moderada.
  - C2 - Terreno de gran compresibilidad.
- c) Material no cohesivo en estado suelto.

## COEFICIENTE SISMICO Y ESPECTRO DE DISEÑO

El coeficiente sísmico es el factor que multiplicado por el peso total de la estructura, proporciona la fuerza cortante horizontal en la base, debido a la acción de un sismo, es decir:

$$F_b = CW$$

donde,

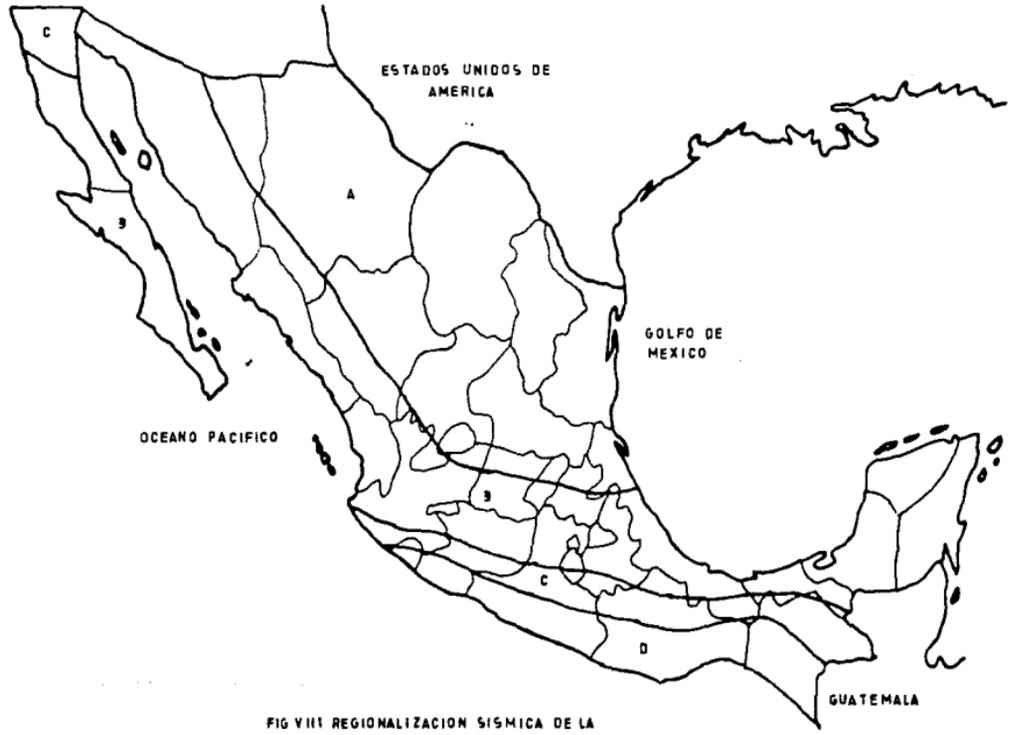


FIG VIII REGIONALIZACION SISMICA DE LA  
REPUBLICA MEXICANA

$F_s$  = Fuerza cortante horizontal en la base  
 $C$  = Coeficiente sísmico  
 $W$  = Peso de la estructura

El coeficiente sísmico expresado como función del periodo de vibración de la estructura o de uno de sus modos es el espectro de diseño de aceleraciones. La fig. VII.2.1 presentó los valores y formas que debe tomar el espectro de diseño para construcciones del grupo B, tomando en cuenta la región sísmica y el tipo de terreno de cimentación.

De acuerdo con el tipo de estructuras, se debe realizar un análisis estático y por efecto hidrodinámico un análisis dinámico.

#### ANÁLISIS ESTÁTICO

Coeficiente sísmico.

Para el análisis estático de las construcciones clasificadas según su destino en el grupo B, el coeficiente sísmico se tomará igual a 0.32 art. 206 del reglamento de construcciones del D.F.

#### DUCTILIDAD

En la determinación de las fuerzas sísmicas que se presentan en tanques de almacenamiento, deberá usarse  $Q = 2$ , -- por recomendación de ref. 6.

La fuerza cortante debida a sismo aplicada en la base de la estructura, se calcula con la fórmula siguiente:

$$F_s = \frac{C}{Q} W$$

#### SUSTITUYENDO VALORES

$$F_s = \frac{0.32}{2} (35123.6) = 5619.7 \text{ Ton.}$$

#### ANALISIS DINAMICO

La fuerza horizontal que representa la acción resultante de los empujes hidrodinámicos sobre las paredes de un recipiente, con tirante  $H$  de líquido con masa  $M$ , puede calcularse, suponiendo una estructura en la que la masa del fluido se sustituye por otras dos  $M_0$  y  $M_1$  colocadas a la altura  $H_0$  y  $H_1$ , sobre el fondo del depósito. La masa  $M_0$  está rígidamente unida al depósito, mientras que la  $M_1$  está ligada a él mediante un resorte horizontal de rigidez  $K_1$ , que permite su desplazamiento relativo.

Los valores de los parámetros que definen la estructura son los siguientes, para tanques cilíndricos con tirante  $H$  y base circular de radio  $R$ , ver figura VII.2.3.

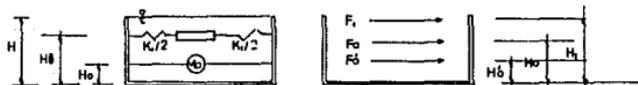


FIGURA V113

$$M_0 = \frac{M \tan h (1.7 R/H)}{1.7 H/R}; \quad M_1 = \frac{0.71 \tan h 1.5 H/R}{1.8 H/R} M$$

$$H_0 = 0.38 H \left[ 1 + \alpha \left( \frac{M}{M_0} - 1 \right) \right]; \quad K_1 = \frac{4.75 g M_1^2}{M R^2} H$$

$$H_1 = H \left[ 1 - 0.21 \frac{M}{M_1} \left( \frac{R}{H} \right)^2 - 0.55 \frac{R}{H} \sqrt{0.15 \left( \frac{R}{H} \frac{M}{M_1} \right)^2 - 1} \right]$$

$M'_0$  = masa del tanque vacío

$H'_0$  = altura del centro de gravedad del tanque vacío

$\alpha=1,3$ ,  $\beta=2.0$ , si interesa incluir en el cálculo el momento hidrodinámico sobre el fondo del tanque.

Con los valores de las masas equivalentes obtenidas de esta manera, pueden determinarse las fuerzas que obran sobre el tanque aplicando las siguientes expresiones:

$$F_0 = 0.4 g M_0,$$

$$F'_0 = 0.4 g M'_0$$

$$F_1 = c k g M_1$$

Fuerzas que se aplicarán a las masas en las elevaciones correspondientes ver figura VII.2.3.

Donde K es un factor reductivo que depende de la flexibilidad de la estructura y tomará los siguientes valores:

$$K = \frac{(0.4 - 0.6 T/T_1)}{1 - (q-1) T/T_1} \quad Q \quad \text{para } T < T_1$$

$$K = 1 \quad \text{para } T_1 \leq T \leq T_2$$

$$K = \frac{T_2}{T} \quad \text{para } T > T_2$$

CALCULANDO VALORES TENEMOS:

$$H = 14.63 \text{ mts. (tirante máximo del líquido)}$$

$$M = \frac{W}{g} = \frac{34586.7}{9.81} = 3525.66 \text{ ton} \cdot \frac{\text{seg}^2}{\text{m}}$$

$$R = 27.432 \text{ mts.}$$

$$c = 0.32$$

$$M^*O = \frac{536.9}{9.81} = 54.73 \text{ ton} \frac{\text{seg}^2}{\text{m}}$$

$$3525.66 \tan h (1.7 \frac{14.63}{27.432})$$

$$M_o = \frac{3525.66 \cdot 1.7 \cdot \frac{14.63}{27.432}}{1.7 \cdot \frac{14.63}{27.432}} = 2798.76 \text{ ton seg}^2/\text{m}$$

$$M_1 = 3525.66 \frac{0.71 \tan h (0.96)}{0.96} = 1940.71 \text{ ton seg}^2/\text{m}$$

$$H_o = 0.38 (14.63) \left[ 1 + 1.3 \left( \frac{3525.66}{2798.76} - 1 \right) \right] = 7.44 \text{ m}$$

$$H_1 = 14.63 \left[ 1 - 0.21 \frac{3525.66}{1940.71} \left( \frac{27.43}{14.63} \right)^2 + 0.55(2.0) \frac{27.43}{14.63} \right]$$

$$\sqrt{0.15 \left( \frac{27.43 \times 3525.66}{14.63 \times 1940.71} \right)^2 - 1}$$

$$H_1 = 14.63 \left[ -0.34 + 2.06 \sqrt{0.74} \right] = 20.95 \text{ m}$$

K = 1 (factor reductivo por flexibilidad de la estructura - igual a la unidad por ser T = T1).

$$F_o = 0.4 (0.32) (9.81) (2798.76) = 3514.35 \text{ ton.}$$

$$F^*o = 0.4 (0.32) (9.81) (54.73) = 68.72 \text{ ton.}$$

$$F_1 = 0.32(1.0) (9.81) (1940.71) = 6092.27 \text{ ton.}$$

Cálculo de esfuerzos transmitidos por la acción del - - sismo.

Fuerzas (ton.)	Distancias (m)	Momento (Fxd)
3514.35	7.44	26146.76 ton-m
68.72	14.6312	502.68 ton-m
6092.27	20.95	<u>127633.05 ton-m</u>
		154282.50 ton-m

Utilizando la fórmula de Escuadria

$$p = \pm \frac{M}{I} r$$

M = Momento actuante

I = Momento de inercia

r = Radio

$$I = \frac{1}{64} D^4 = \frac{1}{64} (54.864)^4 = 141569.56 \text{ m}^4$$

$$p = \pm \frac{154282.5}{141569.56} (27.432) = \pm 29.89 \text{ ton/m}^2$$

$$p = \pm 29.89 \text{ ton/m}^2$$



### VII.3. CAPACIDAD DE CARGA

La cimentación se considerará sometida a una carga igual a la suma del peso de la estructura, de la presión aplicada por fluido al encontrarse lleno el tanque, afectada de un factor de carga igual a 1.4 y de una presión hidrodinámica atribuible a sismo, aplicada sobre el fondo del mismo, afectada de un factor de carga igual a 1.1.

La carga será comparada con la resistencia estimada del suelo afectada de un factor de reducción.

Para suelos suficientemente homogéneos la capacidad de carga puede estimarse recurriendo a la fórmula de Terzaghi para desplante en áreas circulares superficiales. Tomando en cuenta que la flexibilidad del fondo de los tanques impide la redistribución de esfuerzos, se considerará que la falla ocurre por corte local.

$$qd = F.R. (0.8 c N'_c + 0.6 \gamma_m r N'_r)$$

donde;

$qd$  = presión máxima admisible, en  $\text{ton./m}^2$

$c$  = cohesión del material en  $\text{ton./m}^2$

$\gamma_m$  = peso volumétrico medio de los estratos afectados -- por la cimentación en  $\text{ton./m}^3$

$r$  = radio del área circular de desplante, en m.

$N'_c$  y  $N'_r$  = factores de capacidad de carga, para fallar por corte local determinados a partir del ángulo  $\beta$  de fricción interna del material, ver figura VII.2.4

F.R. = factor de reducción igual a 0.6

DE LOS DATOS DEL CAPITULO V TENEMOS;

$$\beta = 25^\circ$$

$$F.R. = 0.6$$

$$c = 8 \text{ ton./m}^2$$

$$\gamma_m = 1.89 \text{ ton./m}^3$$

$$r = 27.432 \text{ m}$$

De la figura VII.2.4;  $N'_c = 12$ ,  $N'_r = 2.5$

SUSTITUYENDO;

$$qd = 0.6 (0.8 \times 8 \times 12 + 0.6 \times 1.89 \times 27.43 \times 2.5) = 92.74 \text{ ton./m}^2$$

$$qd = 92.74 \text{ ton./m}^2$$

El suelo estará sometido a una carga igual a:

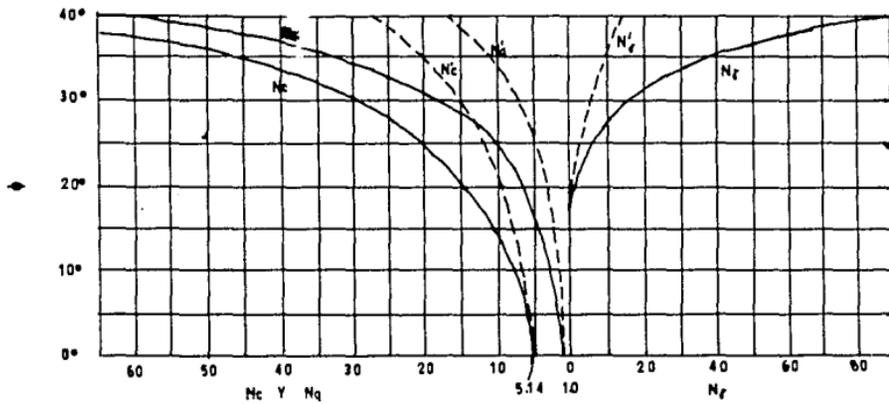


FIGURA VII 24 VALORES DE CAPACIDAD DE CARGA

peso de la estructura      536.9 ton.  
peso del líquido            34586.7 ton.  
                                     35123.6 ton.

peso de la cimentación  
20% del peso total        7024.72 ton.  
                                     42148.72

afectando de un factor de carga igual a 1.4

1.4 (42148.72) = 59008.21 ton.

$$F = \frac{59008.21}{\frac{(54.864)^2}{4}} = 25.96 \text{ ton/m}^2$$

Carga por sismo

1.1 (29.89) = 32.879 ton./m<sup>2</sup>

SUMANDO LOS DOS ESFUERZOS:

$F_{\text{total}} = 24.96 + 32.879 = 57.84 \text{ ton./m}^2$  esfuerzo que es menor a la resistencia qd = 92.74 ton./m<sup>2</sup>.

#### VII.4 DISEÑO DEL MURO ANULAR DE CONCRETO

El muro anular de concreto se construirá con el propósito de repartir la carga concentrada de la pared cilíndrica, - facilitar la construcción del tanque proteger el terraplén durante y después de la construcción y aislar el fondo de la humedad.

El muro deberá descansar sobre suelo inalterado y compactado y ser dimensionado de tal forma que la presión de contacto en su parte inferior sea aproximadamente igual a la presión actuante en el relleno confinado a la misma profundidad. Usando este criterio el ancho se calculará a partir de la siguiente fórmula:

$$b = \frac{100W}{\delta_f H/2 + h (\delta_m - \delta_c)}$$

donde:

b = ancho del muro en cm.

H = altura del tanque en m.

h = altura del muro en m.

W = peso de la pared lateral de acero y de la fracción de techo soportada por metro lineal en ton./m.

$\delta_f$  = peso volumétrico del fluido en  $\text{ton}/\text{m}^3$

$\delta_m$  = peso volumétrico del relleno confinado en  $\text{ton}/\text{m}^3$

$\delta_c$  = peso volumétrico del concreto reforzado, en  $\text{ton}/\text{m}^3$

En ningún caso el ancho del muro podrá ser inferior a 30 cm.

Suponiendo algunos de los siguientes datos;

$$\begin{aligned}
 H &= 14.63 \text{ m} \\
 h &= 1.00 \text{ m} \\
 W &= 3.54 \text{ ton/m} \\
 \sigma_f &= 1.00 \text{ ton/m}^3 \\
 \sigma_m &= 1.9 \text{ ton/m}^3 \\
 \sigma_c &= 2.4 \text{ ton/m}^3
 \end{aligned}$$

SUSTITUYENDO:

$$b = \frac{100(3.45)}{1.0 \frac{(14.63)}{2} + 1.0 (1.9-2.4)} = \frac{345}{6.81}$$

$$b = 50.62 \text{ cm se toma } b = 52 \text{ cm}$$

El muro será reforzado en forma continua a lo largo de toda circunferencia para resistir la presión horizontal atribuible al material confinado y a la sobrecarga del fluido. La tensión en el muro se calculará con la expresión:

$$T = \frac{p_o D}{2}$$

donde:

T fuerza de tensión en la sección del muro, en ton.

D diámetro interior, en m.

$p_o$  presión horizontal atribuible al efecto combinado del relleno y de la sobrecarga del fluido en  $\text{ton/m}^2$ , la cual se calcula en la forma indicada a continuación:

$$p_o = K_a (\sigma_m h + \sigma_f H)$$

donde  $K_a = \tan^2 (45^\circ - \frac{1}{2} \phi)$ ; siendo  $\phi$  el ángulo de fricción interna del material relleno.

En ausencia de información confiable sobre el valor de éste ángulo,  $K_a$  podrá considerarse igual a 0.70

SUSTITUYENDO VALORES ;

$$p_o = 0.70 (1.9 \times 1.0 + 1.0 \times 14.63)$$

$$p_o = 11.571 \text{ ton/m}$$

$$T = \frac{11.571 (54.864)}{2}$$

$$T = 317.42 \text{ ton/m}$$

CALCULO DEL AREA DE ACERO!

$$A_s = \frac{T_o}{2 f_y} = \frac{317.42}{2(4200)} = 37.79 \text{ cm}^2$$

usando 8 varillas del No. 8,  $A_s = 40.56$ , ver figura VII.3.1

Refuerzo Transversal

El refuerzo de estribos para el anillo perimetral de cimentación, consistirá en anillos laterales del No. 3.

El refuerzo se debe colocar con una separación máxima  $S$  de ;

$$S \leq 16(2.54) = 40.64$$

$$S \leq 48(0.952) = 45.696$$

$$S \leq b = 52 \text{ cm}$$

$$\text{Se toma } s = 40 \text{ cm.}$$

EL ARMADO DEL ANILLO SE MUESTRA EN LA FIGURA VII.4.1.

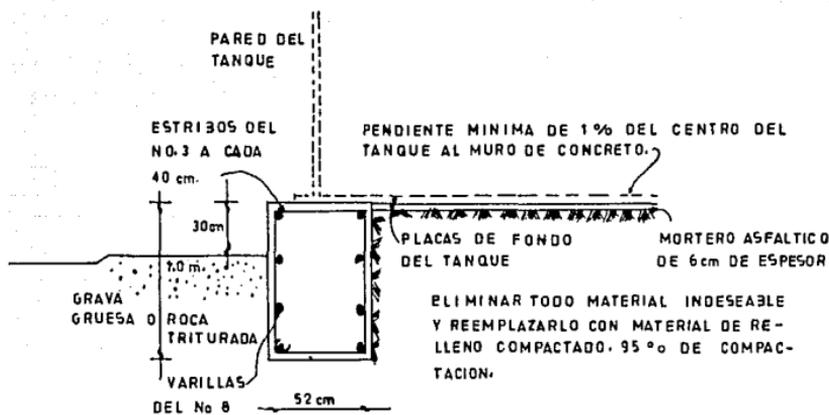


Fig. VII.4.1 MURO ANULAR DE CONCRETO ARMADO

El mortero asfáltico tiene la finalidad dar buena superficie de apoyo al tanque, proteger de la humedad del material de relleno y deberá presentar toda garantía contra corrosión galvánica e incendio durante las operaciones de soldadura. Se dará una ligera pendiente a la superficie de apoyo del centro hacia el muro anular de concreto con objeto de compensar los asentamientos diferenciales y facilitar el lavado y la remoción de sedimentos del tanque.

## CAPITULO VIII

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Cuando en base al estudio del subsuelo y a la experiencia del ingeniero se ha determinado que el suelo en donde se desarrollará la estructura tiene una resistencia tal que se hace innecesaria la construcción de una subestructura que soporte al tanque, la finalidad de la cimentación se reduce a:

- a) Proporcionar un plano estable al tanque
- b) Limitar los asentamientos diferenciales con la finalidad de hacerlos compatibles con los permitidos
- c) Asegurar un drenaje adecuado.

En estas condiciones las cimentaciones recomendables son del tipo superficial.

Las cimentaciones utilizadas en tanques de almacenamiento al igual que cualquier otro tipo de cimentaciones, deben satisfacer los requisitos esenciales de estabilidad y economía.

Entre los factores principales que influyen al elegir el tipo de cimentación se pueden citar las características de la estructura, su destino, las condiciones del subsuelo y el procedimiento constructivo necesario para realizarla. Otro factor también importante en la cimentación, es la existencia de hundimientos regionales.

Un tanque de almacenamiento es muy ligero en comparación con su contenido, por lo que al llenarlo o durante la prueba hidrostática la carga transmitida al subsuelo se incrementa considerablemente en un pequeño periodo de tiempo, en contraste con la mayor parte de las estructuras, en las cargas que

soporta la cimentación se van incrementando en forma gradual - durante su construcción. Así pues a diferencia de otras es-- estructuras, casi toda la carga transmitida al suelo es aplicada repentinamente después de la terminación de la estructura.

Si el subsuelo resulta débil o inadecuado para soportar - la sobrecarga del tanque sin sufrir hundimientos excesivos antes de recurrir a la cimentación a base de pilotes, pilas y -- otro tipo de cimentación profunda. Se recomienda considerar - la posibilidad de mejorar las condiciones del subsuelo y cien- tar superficialmente.

## BIBLIOGRAFIA

- Ref. 1. Mecánica de suelo Tomo I. Juárez Badillo - Rico-Rodríguez.
- Ref. 2. Mecánica de suelos Tomo II Juárez Badillo - Rico-Rodríguez.
- Ref. 3. Cimentación de tanques cilíndricos. Norma 2214.01  
Petroleos Mexicanos
- Ref. 4. Memoria Descriptiva del Complejo Petroquímico --  
"Morelos" Petroleos Mexicanos.
- Ref. 5. Curso Cimentaciones  
Educación continua.  
Facultad de Ingeniería UNAM.
- Ref. 6. Manuel de diseño de obras civiles  
Comisión Federal de Electricidad.
- Ref. 7. Reglamento de construcciones para el Distrito - -  
Federal.