

51  
2ej



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

## DISEÑO DE UN TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTOLEO

TESIS PROFESIONAL  
PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A N :  
ALEJANDRO FLORES ALVAREZ  
SERGIO ALEJANDRO VAZQUEZ COLINAS



México, D. F.

Diciembre de 1988



## **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.

## INDICE

CAPITULO		PAGINA
1	IMPORTANCIA DE UNA PLANTA TERMoeLECTRICA	
1.1.0	Introducción.....	1
1.2.0	Diversos tipos de plantas generadoras.....	3
1.2.1	Plantas hidroeléctricas.....	3
1.2.2	Plantas termoeléctricas.....	4
1.2.3	Plantas geotérmicas.....	4
1.2.4	Plantas nucleoeeléctricas.....	5
1.3.0	Importancia de las plantas termoeléctricas.....	5
1.4.0	Funcionamiento de una planta termoeléctrica.....	6
1.5.0	Ciclo de Rankine.....	6
1.6.0	Procesos básicos de circulación.....	7
CAPITULO		
2	DESCRIPCION DEL PROYECTO.	
2.1.0	Requerimientos básicos para la localización de una planta termoeléctrica.....	10
2.1.1	Capacidad inicial y final de la planta.....	12
2.1.2	Agua de circulación.....	12
2.1.3	Agua de repuesto para calderas.....	13
2.1.4	Combustible para la planta.....	14
2.1.5	Comunicaciones hacia la planta.....	14
2.1.6	Características del predio.....	14
2.1.7	Estudios necesarios para la elaboración del proyecto de la planta.....	15
2.2.0	Antecedentes.....	17
2.2.1	Datos generales de la zona.....	17
2.2.2	Población.....	18

2.2.3	Actividades.....	19
2.2.4	Vías de comunicación.....	19
2.3.0	Selección del Sitio.....	20
2.3.1	Información específica sobre el sitio.....	21
2.3.2	Localización topográfica y referencias.....	21
2.3.3	Precipitación pluvial.....	21
2.3.4	Nivel freático.....	22
2.3.5	Viento.....	22
2.3.6	Sismología.....	22
2.3.7	Condiciones del suelo.....	23
2.4.0	Arreglo general de la planta.....	23

## CAPITULO

3	CARACTERISTICAS ESPECIFICAS DEL TANQUE.	
3.1.0	Descripción del sistema de combustible.....	25
3.1.1	Funciones del sistema.....	25
3.1.2	Descripción del sistema y sus componentes.....	26
3.1.3	Bases de diseño.....	27
3.2.0	Tipos de tanques.....	28
3.2.1	Tipos de techos.....	33
3.3.0	Instituto Americano del Petroleo.....	37
3.4.0	Cálculo de la capacidad del tanque.....	38
3.5.0	Dimensionamiento del tanque.....	41

## CAPITULO

4	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA METALICA	
4.1.0	Materiales.....	43
4.2.0	Diseño de la envolvente.....	44
4.2.1	Cálculo de espesores por el método de un pla o teoría de la membrana.....	45
4.2.2	Cálculo de espesores por el método de diseño	

	de punto variable.....	51
4.2.3	Datos de diseño de la envolvente.....	54
4.2.4	Cálculo de la envolvente.....	55
4.3.0	Tipos de soldadura.....	67
4.3.1	Soldadura a tope.....	67
4.3.2	Soldadura de filete o chaflán.....	69
4.4.0	Diseño del fondo.....	70
4.5.0	Diseño del techo.....	71
4.5.1	Vigas y correas.....	72
4.5.2	Diseño de las columnas soportantes.....	84
4.6.0	Diseño sísmico de tanques de almacenamiento....	87
4.6.1	Momento de volteo.....	87
4.6.2	Masa efectiva del contenido del tanque.....	91
4.6.3	Resistencia al volteo.....	91
4.6.4	Tanques no anclados.....	92
4.6.5	Tanque anclado .....	93
4.6.6	Cálculo del momento de volteo.....	94

## CAPITULO

5	CIMENTACION.	
5.1.0	Condiciones del subsuelo.....	98
5.1.1	Trabajos de campo y laboratorio.....	98
5.1.2	Descripción del subsuelo.....	99
5.1.3	Estatigrafía de la zona.....	99
5.1.4	Conclusiones y recomendaciones.....	100
5.2.0	Estudio económico-constructivo del mejoramiento del suelo.....	100
5.2.1	Substitución de los suelos superficiales hasta una profundidad de 3 a 4.5 Mts.....	101
5.2.2	Precarga del terreno.....	102

5.2.3	Vibrocompactación.....	104
5.2.4	Conclusiones.....	105
5.3.0	Consolidación acelerada de suelos blandos.....	105
5.3.1	Alcance.....	105
5.3.2	Definiciones.....	106
5.4.0	Precarga del terreno.....	107
5.4.1	Características del material de precarga.....	107
5.4.2	Cálculo del esfuerzo a aplicar.....	108
5.4.3	Cálculo de las dimensiones de la precarga.....	110
5.4.4	Conclusiones de precarga.....	112
5.4.5	Recomendaciones para la precarga.....	112
5.4.6	Procedimiento constructivo.....	114
5.5.0	Sondeos de penetración estandar después de la precarga.....	112
5.6.0	Determinación de las causas que provocaron la falla en el método.....	115
5.6.1	Características del subsuelo.....	116
5.6.2	Descripción del problema.....	116
5.6.3	Conclusiones y recomendaciones.....	117
5.7.0	Cálculo e la cimentación.....	118
5.7.1	Introducción.....	118
5.7.2	Alcance.....	118
5.7.3	Asentamientos.....	119
5.7.4	Selección del tipo de cimentación.....	120
5.7.5	Requerimientos generales del anillo de cimentación.....	120
5.7.6	Cálculo del anillo de cimentación.....	123
5.8.0	Diseño por viento.....	127
5.8.1	Datos.....	128

5.8.2	Cálculo de la velocidad de diseño.....	128
5.8.3	Presiones y succiones debidas al viento.....	129
5.8.4	Cálculo de las fuerzas actuantes.....	134
5.8.5	Momentos en la estructura.....	135
5.9.0	Diseño sísmico de la cimentación.....	136
5.9.1	Propiedades del anillo.....	137
5.9.2	Cálculo de los esfuerzos en el terreno.....	138
5.9.3	Factores de seguridad al volteo y al deslizamiento.....	139
5.10.0	Relleno en el interior del anillo anular.....	140

## CAPITULO

6	PRUBA HIDROSTATICA Y ACCESORIOS.	
6.1.0	Prueba hidrostática.....	145
6.1.1	Ejecución de la prueba hidrostática y recomendaciones.....	145
6.2.0	Accesorios.....	147

## CAPITULO

7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	
7.1.0	Conclusiones y recomendaciones.....	151

BIBLIOGRAFIA.....	153
-------------------	-----

## CAPITULO 1

### IMPORTANCIA DE LAS PLANTAS TERMOELECTRICAS.

#### 1.1.0 INTRODUCCION.

Hoy en día escuchamos la palabra energía e inmediatamente nuestra mente la asocia con alguna de sus diversas formas.

La energía definida corrientemente como "la capacidad para desarrollar trabajo" tiene muchos significados y se manifiesta de diversas maneras.

A cualquiera de sus manifestaciones en el tiempo o en el espacio, se le da el nombre de trabajo.

Después de millares de años el hombre ha logrado saber que la materia, cualquiera que ella sea, y la energía son una misma cosa; que la primera no es sino una condensación de la segunda; que la transformación de la primera en la segunda es posible, aunque, por hoy, no es fácil todavía; pero se conoce ya la fórmula, el proceso para seguir esta transformación y regular la marcha de este fenómeno.

La pujanza, la fuerte economía de un país o estado en nuestros tiempos, refleja sus condiciones y abundancia de riquezas naturales, y una de las más importantes es, sin duda, el número de aprovechamientos de su potencia en fuentes duraderas, perennes y no agotables de energía.

Y aunque el grado de bienestar, "el nivel de vida" y la potencia industrial de un pueblo no puede ni determinarse, ni medirse en forma simple por lo que el potencial energético definido, expresado por la energía consumida por habitante y año, no es menos cierto que los países en los cuales este coeficiente de consumo, es bajo,

no pueden considerarse como países avanzados en el conjunto de las naciones en el mundo actual.

La energía se mecaniza, el hombre dejó de ser una máquina, como lo fué el esclavo en la antigüedad. Y para la industrialización es preciso un acopio de energía de cualquier tipo que sea, con referencia a la lograda utilizando fuentes perennes de la misma: solar, hidráulica, etc.

En México existen plantas para transformar la energía cinética del agua en energía eléctrica, al igual que en otras donde se aprovecha el calor para producir vapor y activar los generadores de energía. Sea cual fuere el mecanismo de transformación requiere de algún tipo de materia para transformarla en energía, en ocasiones la materia se encuentra en la naturaleza con accesos directos para su uso, en otras hay que obtenerla en otro lugar diferente de la planta y almacenarla, tal es el caso de los combustibles empleados en las plantas termoeléctricas que se almacenan en tanques de acero.

El hombre debe hoy asegurar su evolución industrial en el futuro sin el temor, sin la angustia de que con el tiempo se agoten las fuentes de energía.

La búsqueda de esta seguridad ha impulsado al hombre, pero de forma acuciosa hoy, a desarrollar aquellos recursos considerados como perennes, como absolutamente inagotables reemplazando así las fuentes de energía irremediamente perecederas.

## 1.2.0 DIVERSOS TIPOS DE PLANTAS GENERADORAS DE ENERGIA ELECTRICA.

Según el tipo de combustible que emplean para la generación de energía, las plantas se clasifican en:

---

---

TIPOS DE PLANTAS	ENERGIA
a) Hidroeléctricas.....	Agua.
b) Termoeléctricas.....	Combustibles fósiles, carbón, gas, combustóleo, diesel.
c) Geotérmicas.....	Vapor de agua producido de la energía calorífica del núcleo terrestre
d) Nucleoeléctricas.....	Energía nuclear producto de la fisión del uranio.

---

---

### 1.2.1 PLANTAS HIDROELECTRICAS.

En las plantas hidroeléctricas las energías potencial y cinética del agua hacen girar a una turbina acoplada a un generador eléctrico. En este caso el energético, o sea la caída del agua, es renovable y su disponibilidad depende de la frecuencia e intensidad de las lluvias y de la capacidad de las presas y vasos de captación.

### 1.2.2 PLANTAS TERMoeLECTRICAS.

Este tipo de plantas generalmente se localizan en lugares donde existe agua en abundancia, en las orillas de rios, lagunas o cercanas al mar. Constan de un generador de vapor que es el que efectúa la trasformación de la energía calorífica del combustible (gas, combustóleo, carbón), en vapor de agua; y de un turbogenerador, que es donde se efectúa la trasformación de la energía del vapor en energía mecánica, la que a su vez se transforma en energía eléctrica.

### 1.2.3 PLANTAS GEOTERMICAS.

Los vapores que se desprenden espontáneamente del subsuelo han sido utilizados como fuerza motriz, análogamente al tipo de las centrales de vapor. Actualmente se utiliza también el vapor de estos respiraderos (geisers) en turbinas, obteniéndose rendimientos bastante elevados.

La energía geotérmica es el aprovechamiento de las fuerzas de vapor de calor internas de la tierra, que se transmiten a través de los acuíferos subterráneos, que son los que nos permiten, por medio de pozos, aprovechar dicha energía convertida en vapor y agua caliente, la que a su vez es trasformada en energía eléctrica como se describió anteriormente.

#### 1.2.4 PLANTAS NUCLEOELECTRICAS.

El combustible nuclear es un nuevo energético cuya utilización mundial está substituyendo a los energéticos convencionales para satisfacer las demandas crecientes de energía eléctrica.

Este combustible es principalmente uranio y la energía que de él se obtiene, proviene de los nucleos de uranio 235 (isótopo de uranio número atómico 92 y número de masa 235 ), que se fisiona o parte en fragmentos al sostenerse una reacción en cadena con neutrones en un reactor nuclear.

Esta energía aparece como calor que genera vapor de agua para mover a una turbina acoplada a un generador eléctrico.

#### 1.3.0 IMPORTANCIA DE LAS PLANTAS TERMOELECTRICAS.

La importancia de una planta termoelectrica depende básicamente de la generación de kilowatts-hora que sus unidades pueden efectuar para poder satisfacer las demandas de energía eléctrica requeridas.

La generación de electricidad por medio de plantas térmicas, requiere de importantes consumos de petróleo, gas y carbón. Esto obliga a su uso racional para que en forma equilibrada con los recursos hidráulicos del país, sea factible un costo razonable por cada kilowatt-hora generado.

#### 1.4.0 FUNCIONAMIENTO DE UNA PLANTA TERMoeLECTRICA.

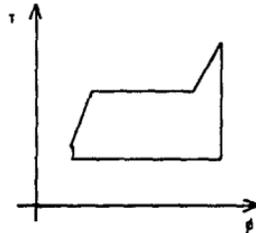
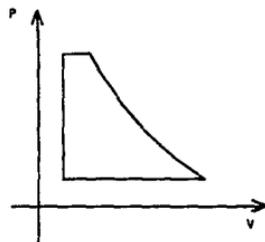
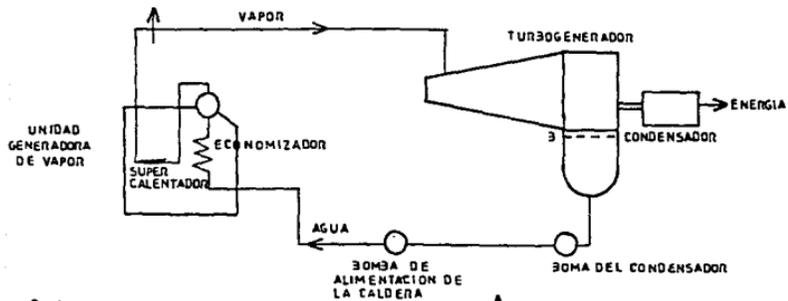
El aumento de eficiencia en los procesos generadores de energía se debe al perfeccionamiento del sencillo ciclo original llamado CICLO DE RANKINE , y la capacidad de producir y utilizar correctamente el vapor a altas temperaturas y altas presiones.

La conversión del calor en energía mecánica se remonta a los principios de la termodinámica, tales como estudios de una sustancia , tablas de vapor ,ciclo de Carnot y fundamentalmente el ciclo de Rankine que es el efectuado por una planta termoeléctrica.

#### 1.5.0 CICLO RANKINE.

El ciclo Rankine es el más simple de los ciclos ideales que utilizan vapor como medio de trabajo. El vapor fué el elemento utilizado en este ciclo originalmente y continúa empleándose en la actualidad. En la figura (1.1) se muestra el ciclo de Rankine.

En la operación el agua del condensador se bombea a la caldera, luego se aplica calor a la caldera para convertir el agua en vapor. El vapor de la caldera se expande a través de la turbina produciendo la fuerza que hace girar al generador. De la turbina, el vapor en expansión pasa al condensador donde nuevamente se convierte en agua. La acción de este círculo es constante y se conoce como CICLO.



CICLO DE RANKINE

FIG.1.1

## 1.6.0 PROCESOS BASICOS DE CIRCULACION.

Una moderna estación generadora de electricidad por medio de vapor, contiene muchas piezas de equipo grandes y complejas que se encuentran conectadas mediante numerosos sistemas de tubería a fin de permitir la circulación de vapor, agua, aceites y otros fluidos.

A continuación se enumeran los componentes principales del equipo para convertir la energía del combustible almacenado en electricidad:

COMBUSTIBLE.- Proporciona fuente de energía de hidrocarburos.

CALDERA.- Genera vapor del calor de la combustión.

TURBINA.- Convierte la energía térmica en fuerza rotativa mecánica.

GENERADOR.- Convierte las fuerzas rotativas mecánicas en energía eléctrica.

CONDENSADOR.- Convierte el vapor expandido (baja presión y temperatura) en agua.

CALENTADORES.- Mejoran la eficiencia termodinámica del ciclo.

BOMBAS.- Hacen circular diversos fluidos, principalmente agua y aceite, a través de los diferentes sistemas.

TRANSFORMADORES.- Elevan la fuerza eléctrica al nivel requerido para su transmisión tomando en consideración las pérdidas y las necesidades.

LINEAS DE TRANSMISION.-Conducen la energía eléctrica desde el punto de generación (planta generadora) hasta los puntos de consumo.

Estos componentes incluyen:

- Bombas de condensado
- Calentadores de agua de alimentación
- Bombas de alimentación de la caldera
- Desaerador
- Eyector
- Evaporadora

La transformación de la energía comienza con la combustión en la caldera. En virtud de que esta es un proceso continuo requiere un suministro constante de aire y combustible a la caldera a fin de mantener la combustión.

El vapor generado en la caldera circula a través de la turbina para producir una fuerza rotatoria en el generador eléctrico. Parte del vapor de la turbina se extrae antes de que termine su expansión y se utiliza para calentar el agua de alimentación de la caldera. El vapor que pasa por la turbina se dirige al condensador donde se enfría y se condensa para volver nuevamente a su fase de agua.

El agua del condensador es bombeada otra vez hacia la caldera a través de los calentadores de agua de alimentación para comenzar otro ciclo.

En la figura (1.2) se muestra un diagrama de flujo donde aparecen los sistemas elementales en el ciclo de una planta termoeléctrica típica. La finalidad básica de la planta es suministrar energía eléctrica a las líneas de transmisión, el

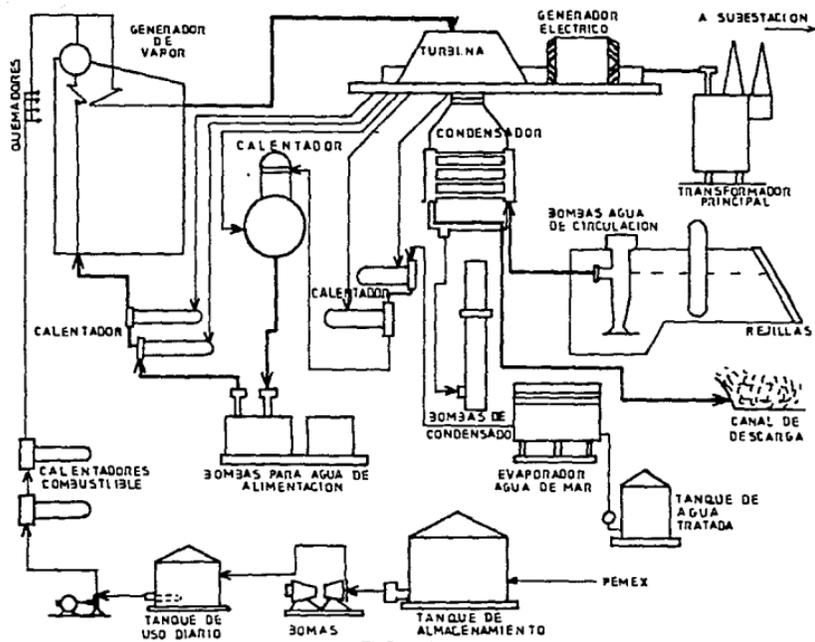


FIG. 1.2

Resto del equipo de los diversos subsistemas está subordinado a este objetivo: GENERAR ENERGIA ELECTRICA.

## CAPITULO 2

### DESCRIPCION DEL PROYECTO.

#### 2.1.0 REQUERIMIENTOS BASICOS PARA LA LOCALIZACION DE UNA PLANTA TERMOELECTRICA.

La zona del país, en donde estará situada una planta termoeléctrica, es fijada por estudios técnico-económicos del sistema eléctrico a que estará conectada (demanda, tendencia de crecimiento, centro de carga, centro de energéticos, etc.,).

Se deberá hacer un estudio de mercado de la zona o región que vaya a alimentar la planta, en caso de construir un sistema aislado; en caso de que sea un sistema interconectado al que vaya a incorporarse dicha planta, se deberá efectuar además del estudio anterior un estudio económico de su operación, para tratar de estimar el posible tipo de operación de la planta, si como planta base o como planta de tipos. Dadas las condiciones actuales de los sistemas, la tolerancia es construir plantas con unidades termoeléctricas de gran potencia que suministren la energía básica y que las plantas hidroeléctricas proporcionen los picos del sistema.

Naturalmente se deberá estudiar convenientemente la repartición económica de carga entre las diversas plantas para evitar en lo posible que funcionen los vertedores de demasías de las plantas hidroeléctricas (P.H), desperdiciando así posible energía de generación y aprovechando al máximo las posibilidades hidroeléctricas a fin de evitar consumos innecesarios de combustible.

Se deberá estimar la curva de duración de carga de la planta; de dicha curva se deduce el número y potencia de las unidades generadoras que conviene instalar. La potencia máxima de cada unidad deberá ser menor que el 5% de la potencia total del sistema. Del estudio de los reactivos que deben circular por el sistema se deberá fijar los mega-volts-ampere (MVA) de los generadores y los mega-watts (MW) de sus turbinas, es decir, el factor de potencia (f.p.) de las unidades. Para fines de normalización solo se especifican unidades con f.p. de 0.95 y 0.85 nunca deberán operarse unidades de gran potencia a una carga mínima menor del 50% de su potencia nominal ni mayor de 20% de sobrecarga sobre su potencia aparente, en este caso por períodos mayores de 2 horas.

Se debe dar a conocer tanto al proyectista como al fabricante de la turbina y el generador, las condiciones en que se estiman deben trabajar las unidades, tales como carga básica o de picos, y en este caso la rapidez máxima que ésta puede variar, y el f.p. que debe tener dichas unidades.

Si las unidades van a operar por lo general en picos, se debe sacrificar algo de eficiencia y confiabilidad en beneficio del menor costo inicial. Si las unidades se estima que van a operar principalmente para proporcionar energía de base, debe procurarse mayor eficiencia y confiabilidad. Para estudios económicos se debe estimar los factores probables de planta, diaria y mensual, para las distintas estaciones del año, así como el de carga anual.

### 2.1.1 CAPACIDAD INICIAL Y FINAL DE LA PLANTA.

Para este propósito es necesario la capacidad en su primera etapa (10 años) y en la etapa final de la planta (30 años).

La capacidad inmediata nos da la información requerida para el desarrollo inicial a planear y la capacidad final nos permite preveer un sitio suficientemente grande para alojar la central planeada y considerar el desarrollo futuro de los servicios de la manera más económica.

### 2.1.2 AGUA DE CIRCULACION.

Es el agua de enfriamiento que absorbe el calentador de vaporización del vapor de escape de la turbina, y que circula por los tubos del condensador.

Esta puede provenir del mar, de un lago, río, o en el último de los casos de agua subterránea. De preferencia se estudian las ubicaciones en la vecindad del mar, lago o río que permiten eliminar las torres de enfriamiento, para ello debe ser posible derivar de tales fuentes de abastecimiento un gasto aproximado 3 m<sup>3</sup>/seg por cada 100 MW, gasto que deberá devolverse a la fuente en un sitio adecuado que evite su recirculación.

Para la obra de toma debe seleccionarse un sitio que facilite el tomar el agua a varios metros de profundidad a fin de que su temperatura sea la mínima posible.

La obra de toma debe construirse evitando el arrastre de cuerpos extraños como arena, moluscos, algas, peces, troncos, etc., mediante la instalación de dispositivos adecuados para este propósito como por ejemplo; rejillas o mallas giratorias. Al

adaptar este sistema deben considerarse los factores económico y ecológico.

En el caso en el que la fuente de suministro se tome de un río, se debe asegurar que el gasto mínimo en época de estiaje sea el necesario para abastecer la planta en su etapa final de desarrollo.

Cuando el agua de circulación se enfría en torres de enfriamiento se requiere una fuente de suministro para el repuesto de agua de buena calidad. El consumo aproximado de agua de repuesto a las torres se estima en  $0.12 \text{ m}^3/\text{seg.}$  por cada 100 MW.

En el caso de tener que recurrir a aguas subterráneas, deberán sacarse muestras de agua de diferentes pozos existentes, así como los datos que sea posible obtener de ellos tales como: profundidad, gasto, antigüedad, etc., para definir la calidad y confiabilidad de la fuente de suministro.

### 2.1.3 AGUA DE REPUESTO PARA CALDERAS.

Dicha agua se suministra con evaporadoras del tipo de evaporación instantánea o con agua cruda de pozo de la mejor calidad que sea posible obtener a fin de que se reduzca en lo posible el costo de la desmineralización requerida. Se requiere un gasto aproximado de  $3\text{m}^3/\text{seg.}$  por cada 100 MW.

#### 2.1.4 COMBUSTIBLE PARA LA PLANTA.

Dentro de la zona fijada se toma en cuenta en las alternativas del costo del transporte del combustible. Para el suministro de combustóleo, se requiere aproximadamente  $570 \text{ m}^3/\text{día}$  por cada 100 MW. Se considera indispensable un oleoducto y en su caso que esto no sea posible se deben considerar instalaciones necesarias para descargar con carros tanque o para descarga marítima; para el suministro de carbón se requieren aproximadamente  $1100 \text{ ton/día}$  por cada 100 MW. Es conveniente situar la planta en un sitio lo más cercano posible a los yacimientos de carbón. Se debe proveer cuidadosamente el sitio donde se depositará la ceniza residual producto de la combustión del carbón, para esto se usan grandes chimeneas de concreto.

#### 2.1.5 COMUNICACIONES HACIA LA PLANTA.

De preferencia debe localizarse la planta en la vecindad de una población que cuente con facilidades de comunicación, como ferrocarril, carreteras o aeropuertos.

#### 2.1.6 CARACTERÍSTICAS DEL PREDIO.

Se debe escoger un predio que no esté en una hondonada para evitar inundaciones, y cuyo subsuelo sea de una naturaleza tal que facilite la cimentación del equipo pesado.

El nivel del lugar no debe ser tan alto que la potencia para el bombeo del agua de circulación sea excesiva.

Los subproductos o desechos, humo, ceniza, y desperdicios en general deben tratarse en forma adecuada para no contravenir las leyes vigentes en el país relativas a la contaminación ambiental. En base a la capacidad de la planta en su etapa final, puede considerarse una superficie aproximada de cinco hectáreas por cada 100 MW para aquéllas que usen combustóleo, y 20 hectáreas por cada 100 MW para aquéllas que usen carbón considerando el área para almacenamiento de cenizas.

### 2.1.7 ESTUDIOS NECESARIOS PARA LA ELABORACION DEL PROYECTO DE LA PLANTA.

Para la elaboración del proyecto y posteriormente la construcción de una planta termoelectrica, es necesario llevar a cabo una serie de estudios tendientes a optimizar todas las actividades de proyecto y construcción. A continuación se enlistan dichos estudios.

- Topografía, fotogrametría, curvas de nivel con equidistancias de un metro.
- Estudios geofísicos.
- Información de mecánica de suelos.
- Acceso para vehículos, ferrocarril, líneas de transmisión y combustibles.
- Factibilidad de acceso de equipos voluminosos y muy pesados.
- Información sobre fuentes de abastecimiento de agua, para construcción y operación.
- Información sobre fuentes de abastecimiento de combustible y consideraciones de suministro.
- Consideraciones sobre transporte, habitación y facilidades

- para el personal de construcción.
- Información de condiciones geológicas y sísmicas.
  - Información de velocidades, frecuencias y direcciones de vientos.
  - Información de condiciones del agua, químicas y físicas, temperaturas máximas, mínimas y promedios mensuales y anuales.
  - Información de niveles de agua, máximos, mínimos y promedio.
  - Información sobre precipitaciones pluviales, máximas por hora, promedio, inundaciones y avenidas.
  - Información sobre el enlace eléctrico a los sistemas, tipo de carga, número de líneas y alimentadores y su voltaje.
  - Características corrosivas del ambiente.
  - Información sobre desarrollo de vida animal o vegetal en el agua y en las instalaciones.
  - Información sobre disponibilidad de bancos de material para construcción, grava y arena.
  - Consideraciones sobre contaminación del agua y aire.
  - Consideraciones sobre instalación a la intemperie de equipos principales, turbogeneradores, generadores de vapor y subestación.
  - Estudios sobre costos del terreno, del agua y del combustible.
  - Estudios sobre alternativas de drenaje de aguas negras y aguas contaminadas o con altas concentraciones y temperaturas.
  - Estudios sobre alternativas de eliminación de desechos sólidos de plantas de tratamiento, escorias, residuos de combustible, cenizas, basura, etc.

- Estudios sobre efectos en Propiedades Vecinas de la emisión de gases y vapores.
- Estudios sobre fenómenos de desastres posibles, sismos, probabilidad de ocurrencia y previsiones mínimas.
- Estudios sobre disponibilidad de energía de los sistemas interconectados y necesidad de instalación de la planta.

## 2.2.0 ANTECEDENTES.

La demanda de energía eléctrica en el país se enfoca en este caso en el estado de Colima en el cual se requiere de una planta termoeléctrica, la cual podrá ser conectada con el resto del sistema, por lo que analizaremos este, particularmente en el municipio de Manzanillo donde finalmente se construirá la planta termoeléctrica fig.(2.1).

## 2.2.1 DATOS GENERALES DE LA ZONA.

El estado de Colima se encuentra entre las laderas australes del Volcán de Colima y la llanura costera del Océano Pacífico. Dicho estado limita al norte con el estado de Jalisco, al sureste con Michoacán y al sur y al oeste con el Océano Pacífico.

El estado de Colima tiene una superficie de 5455 Km por lo que ocupa el lugar número 29 dentro de la República Mexicana.

Los relieves montañosos cubren el oeste, el norte y parte del este de la entidad. Las penetraciones de las sierras jaliscienses forman las zonas más elevadas: Cerro Grande 2530 metros, sierras de Perote, el Peón y las estribaciones del Volcán de Colima (cono volcánico localizado en Jalisco), que penetran por el norte. En la

**ESTADO DE COLIMA**

**MUNICIPIO DE  
MANZANILLO**



FIG. 2.1

región oriental, se encuentran la serranía de Picila y el cerro del Salto. La serranía de Picila limita por el sur el amplio Valle de Colima en el que se asienta la capital del estado. En el sureste, las llanuras de Tecomán terminan en un litoral bajo y arenoso. Colima cuenta con dos amplias bahías: la de Manzanillo, en donde se encuentra el puerto del mismo nombre, y la de Santiago; tiene también, la extensa laguna de Cuyutlán rica en yacimientos de sal. En lo que respecta a la geología del lugar tenemos que las rocas superficiales al norte y centro son volcánicas extrusivas del terciario, en la Sierra de Perote intrusivas y en la Sierra de Picila sedimentarias del secundario; en el litoral sedimentarias recientes (aluviones). Además en el estado predominan suelos profundos, pero poco desarrollados (Regosol), en los valles de Colima y Tecomán se encuentran suelos ricos en materia orgánica (Feozem) y en el volcán, suelos derivados de cenizas volcánicas (Andosol).

## 2.2.2 POBLACION.

Hombres	167992 hab.
Mujeres	171210 hab.
Total	339202 hab.
Densidad de población:	.....65.34 hab/Km <sup>2</sup>
Población económicamente activa (de 12 años y más):	....105667 hab
Población económicamente inactiva (de 12 años y más):	...114114 hab
Alfabetos (mayores de 15 años):	.....161279 hab
Analfabetos (mayores de 15 años):	..... 21984 hab
Menores de 15 años:	.....149684 hab
El puerto de Manzanillo cuenta con una población de 28257 hab.	

### 2.2.3 ACTIVIDADES.

En lo que se refiere a la agricultura es el primer productor de limón del país, además se cultiva plátano; otros cultivos de importancia para su economía son: palma de coco (copra), caña de azúcar, maíz, mango, jitomate, arroz y aguacate.

Colima dispone de pocas extensiones de pastos, 3% de su superficie total por lo que la ganadería no ha tenido un gran desarrollo. Tiene ganado bovino fino, porcino, caballero, ovino, asnal y mular. Dentro del estado se tiene una superficie forestal de 316575 has., y 127025 has. de superficie arbolada en las cuales predominan las selvas medianas de clima cálido subhúmedo, y los bosques de clima templado fresco.

La actividad pesquera debe incrementarse en el estado, las especies principales que se obtienen son: guachinango, tiburón, mojarra, sierra, pargo y langostino.

Colima posee el yacimiento de fierro más rico del país en Peña Colorada, municipio de Minatitlán, el cual se explota por la siderúrgica "Lázaro Cárdenas-Las Truchas" situada en Michoacán, cerca de los límites con Guerrero. La extracción de sal representa una actividad importante para la economía del estado; las salinas se localizan en la región costera.

### 2.2.4 VIAS DE COMUNICACION.

El estado de Colima cuenta con 549 Km de carreteras pavimentadas y 192 Km de vías ferreas (ferrocarril México-Guadalajara-Manzanillo). Las carreteras de la ciudad de Colima a Guadalajara, Jal. y a

Jiquilpan, Mich., comunican a la entidad con el resto del país. También hay carreteras de Colima a Manzanillo, a Barra de Navidad, Jal., a Tecomán, Cerro de Ortega y Boca Pascuales. Comunicación aérea con la ciudad de México, Guadalajara y los Cabos. Para el transporte marítimo está el puerto de Manzanillo y las instalaciones del puerto interior de la laguna de San Pedrito. El estado de Colima cuenta con 10 administraciones de correos, una sucursal, 44 agencias y 76 expendios, tiene 19 oficinas telegráficas, 9 telefónicas y una radiofónica. La ciudad de Colima cuenta con télex, y el estado está integrado a la red federal de microondas

### 2.3.0 SELECCION DEL SITIO.

Se investigaron varias alternativas, en diferentes sitios de la bahía de Manzanillo, cercanas a la laguna de Coyutlan, de los cuales se investigaron los siguientes lugares:

- 1) Ventanas.
- 2) Sangrila.
- 3) Sanchez Diaz.
- 4) Ejido Campos.
- 5) Fraccionamiento Villa Florida.

Tomando en cuenta los requerimientos basicos para la localización de una planta termoeléctrica y una vez realizados los estudios necesarios; finalmente el sitio elegido para la construcción de la planta termoelectrica Manzanillo Colima, es el que se encuentra en los terrenos identificados como "Sanchez Diaz" y "Sangrila", mismos que se muestran en la fig 2.2

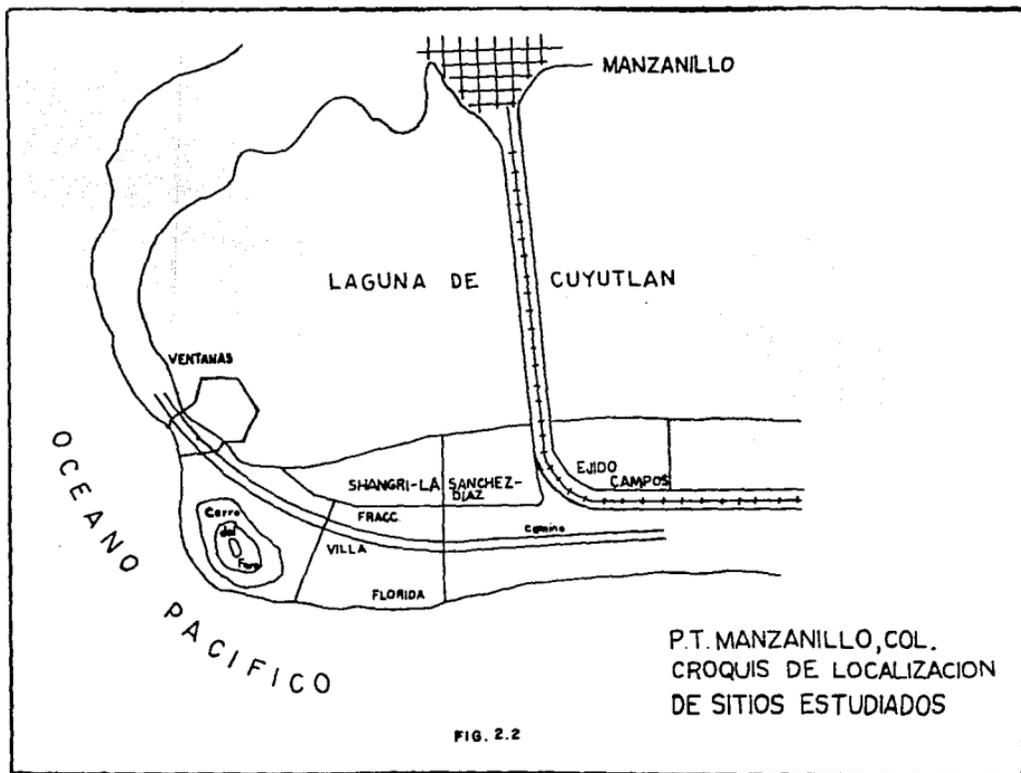


FIG. 2.2

### 2.3.1 INFORMACION ESPECIFICA SOBRE EL SITIO.

Existe alguna información que de cierto modo es indispensable en el diseño de las estructuras que conforman la planta termoeléctrica, esta información contempla aspectos específicos como son:

### 2.3.2 LOCALIZACION TOPOGRAFICA Y REFERENCIAS.

La planta que se denominará "Planta Termoeléctrica Manzanillo" se encuentra situada en los predios llamados "Sanchez Díaz" y "Shangrila" y se localiza a los  $19^{\circ}01'42''$  latitud norte y  $104^{\circ}19'06''$  longitud oeste.

El sitio se encuentra aproximadamente a 5 kilómetros al sur de la ciudad de Manzanillo, estado de Colima en la orilla sur de la laguna de Cuyutlán.

El predio de la planta es prácticamente plano, y el subsuelo es homogéneo formado por materiales arenosos uniformes.

Los niveles de la planta son referidos al nivel medio del mar considerado como: NMM=0.00

Sus principales vías de comunicación son: El Ferrocarril Guadalsjara-Manzanillo, que colinda la planta por el lado Este, y el camino Manzanillo-Cuyutlán que pasa al suroeste de la planta.

### 2.3.3 PRECIPITACION PLUVIAL.

Lluvia	Promedio anual.....	111.0 cm.
	Máxima diaria.....	25.2 cm.
	Máxima por hora para	

diseño(tormenta 100 años).... 12.2

#### 2.3.4 NIVEL FREÁTICO.

El nivel freático en la zona de Casa de Máquinas, Calderas y Edificio de Control se encuentra aproximadamente a +0.5 msnm.

En el resto de la planta la elevación del nivel freático es variable desde -0.50 hasta +0.80 con respecto al nivel medio del mar.

#### 2.3.5 VIENTO.

Velocidad básica del viento.....230 Km/hr  
Intervalo de recurrencia.....1941-1973 años  
Viento Reinante.....18 Km/hr  
Dirección.....NW

#### 2.3.6 SISMOLOGIA.

Los parámetros resultantes obtenidos del Reporte de Parámetros sísmicos sirvieron para la obtención de los coeficientes sísmicos como sigue:

Aceleración del terreno para un período de recurrencia de 100 años  
 $A=0.175g$ .

Tomando un amortiguamiento del 5% del crítico, la aceleración espectral aplicable se obtiene con un factor de amplificación dinámica de 2.6 o sea  $A_d=0.175g \times 2.6=0.455g$

Sin embargo, éste valor debe reducirse tomando en cuenta la ductilidad de cada estructura por ejemplo:

Estructura Ductilidad

Casa de Máquinas.....4

Estructura de Calderas.....2.5

Entonces el coeficiente sísmico queda definido así:

$$\text{C.S. para marcos rígidos} = \frac{0.455g}{4} = 0.11g$$

$$\text{C.S. para marcos contraventados} = \frac{0.455g}{2.5} = 0.18g$$

Este coeficiente se multiplica por la masa para obtener la fuerza lateral equivalente.

### 2.3.7 CONDICIONES DEL SUELO.

El subsuelo está compuesto de materiales arenosos uniformes distribuidos en capas según su profundidad como sigue:

- 0-1.5 a 2.5 m            Arena media fina de compacidad baja y media.
- 1.5-2.5 a 5.5-13.5 m    Arena fina a media de compacidad media a alta
- 5.5-13.5 a 7.0-40.0 m    Arena media a fina de compacidad alta a muy alta.

### 2.4.0 ARREGLO GENERAL DE LA PLANTA.

El proyecto termoeléctrico Manzanillo consta de dos unidades, las cuales se construyeron en dos etapas, denominandolas Manzanillo I y Manzanillo II.

El presente trabajo esta enfocado a la unidad Manzanillo II de la cual desarrollaremos el "Análisis y Diseño del Tanque de

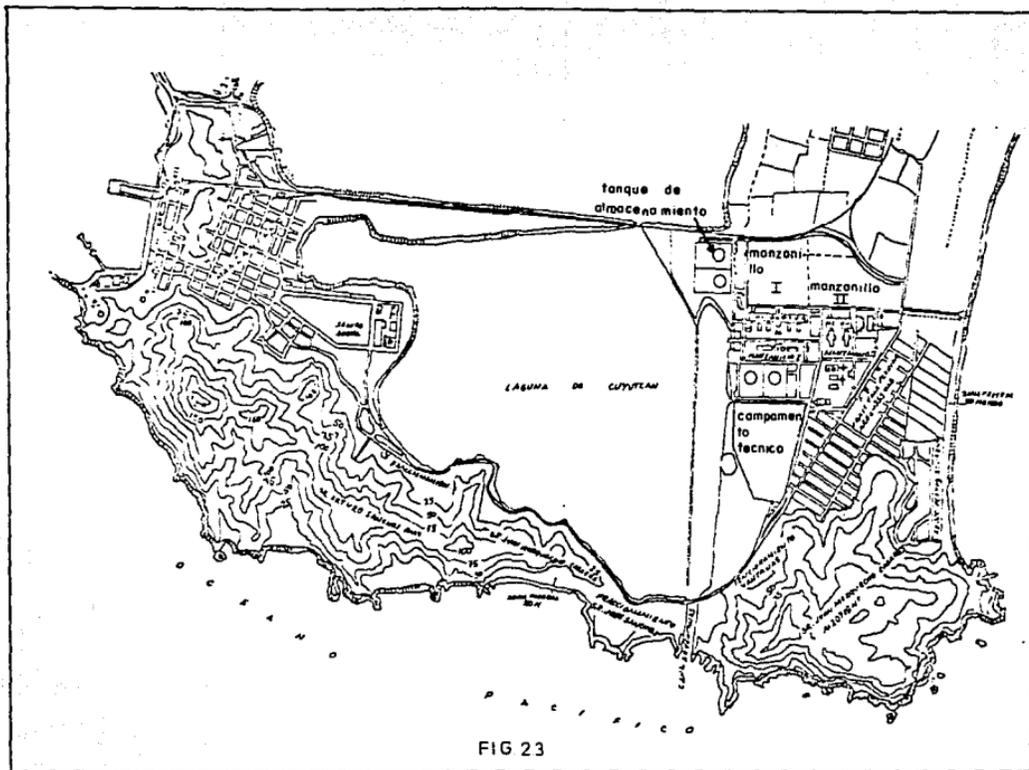


FIG 23

**Almacenamiento de Combustoleo".**

En la fig. 2.3 se muestra el arreglo general de la planta con sus dos unidades y el tanque de almacenamiento al cual se enfocará este trabajo.

## CAPITULO 3

### CARACTERISTICAS ESPECIFICAS DEL TANQUE

#### 3.1 DESCRIPCION DEL SISTEMA DE COMBUSTIBLE.

##### 3.1.1 FUNCIONES DEL SISTEMA.

La función del sistema, es proporcionar un suministro continuo de aceite combustible en condiciones apropiadas, de presión y temperatura al conjunto de quemadores con que está equipado el generador de vapor.

Se han considerado para el diseño, encendido, arranque y operación de la central dos tipos de combustible: Aceite combustible Bunker "C" y Aceite diesel.

El aceite combustible llega a la central a través de un oleoducto y desde la terminal de descarga de Pemex, a los tanques de almacenamiento con calentador de succión, se bombea al tanque de día con calentador de succión y de ahí a los calentadores principales por medio de un sistema de bombeo que inyecta el combustible a los quemadores.

El diesel se suministra a la central con pipas al tanque de almacenamiento de diesel, por medio del sistema de bombas de diesel se alimentan los quemadores de calentamiento y/o pilotos.

Se contará además con una fosa para descarga de los carros pipa y de donde podrá ser bombeado el aceite combustible al tanque de almacenamiento.

### 3.1.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA Y SUS COMPONENTES.

Sistema de Combustible.

Este sistema está constituido por:

Oleoducto desde la terminal de pemex hasta la central.

Tanque de día.

Sistema de bombeo de alimentación a quemadores (combustible y diesel).

Calentadores de aceite combustible.

Calentadores de succión en tanques.

Tanques de almacenamiento de combustible.

Fosa de descarga de combustible para carros pipa.

El aceite combustible es entregado a la central a través del oleoducto de Pemex Este es cargado a los tanques de almacenamiento de donde es bombeado pasando por el calentador al tanque de día.

De este tanque se succiona pasando por el calentador de succión y se descarga a los calentadores principales y de allí a los quemadores. A la descarga de las bombas se encuentra un cabezal común que va a los calentadores principales, donde se incrementa la temperatura a la requerida por los quemadores para operar satisfactoriamente.

Las descargas de los calentadores forman un cabezal común que alimenta a los quemadores. Del cabezal que alimenta a los quemadores se deriva una línea que recircula el aceite combustible al tanque de día, con el objeto de mantener la presión requerida por el generador de vapor.

El sistema diesel se encuentra constituido por dos bombas del tipo centrífugo con las cuales se descargarán los carros pipa al tanque de almacenamiento de diesel, del tanque, succionarán a través de

un cabezal común de succión las dos bombas de desplazamiento positivo que suministran el diesel a las condiciones necesarias para el arranque de los generadores de vapor, así como las tres bombas de desplazamiento positivo que alimentan el combustible a las condiciones requeridas por los pilotos.

#### Tanques de almacenamiento.

Los tanques de almacenamiento están constituidos de lámina de acero al carbón. Es del tipo cilíndrico vertical con techo cónico e incluye boquillas para llenado, descarga, drenajes, derrame, registros de hombre, recirculación de bombas de transferencia, registro de limpieza, venteo, y las necesarias para instrumentación, así como escaleras de acceso y barandales de protección.

Con objeto de dar protección contra el fuego a los tanques, estos estarán equipados con arrestadores de flama.

### 3.1.3 BASES DE DISEÑO.

#### Sistema de Combustible.

Sistema de Combustible Bunker "C".

Este sistema se diseñó para alimentar al generador de vapor a capacidad máxima continua, (105%) incluyendo producción máxima de vapor auxiliar.

## Tanque de Almacenamiento de Combustible.

Los tanques se diseñan cada uno para contener el combustible necesario para operar un generador de vapor durante 20 días a un 80% de carga nominal. Este diseño está hecho de acuerdo a la última edición del código API 650 seleccionando una capacidad ligeramente mayor a la calculada.

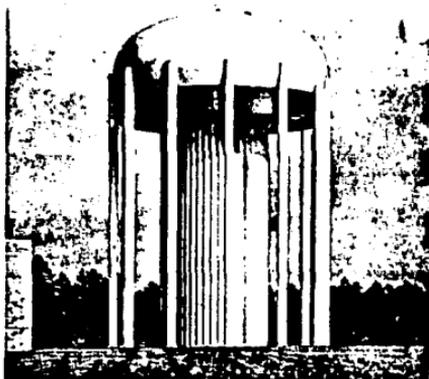
### 3.2.0 TIPOS DE TANQUES.

Todos aunque de alguna manera sencilla hemos tenido la necesidad de guardar algún objeto, para ello conseguimos un recipiente o caja donde podamos contenerlo.

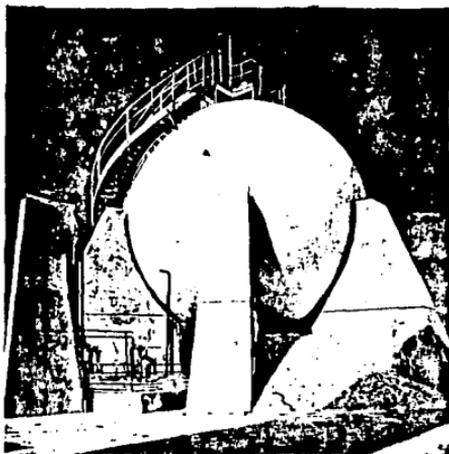
Todo nos parece sencillo hasta que nos encontramos con el caso de guardar algo que no es materia sólida como el caso de una sustancia líquida, gas, etc. Decimos entonces que es un problema, ya que el recipiente debe de tener ciertas características que nos permitan sacar u obtener lo que contiene, manteniendo una seguridad adecuada.

Así podemos encontrar los llamados tanques de almacenamiento con diversas formas y materiales de construcción.

Tenemos el caso de tanques elevados de acero como el mostrado en la figura, que están destinados a almacenar agua principalmente y tienen la característica de ser elevados para aprovechar la energía cinética que adquiere el agua de acuerdo con la altura a la que se encuentra.

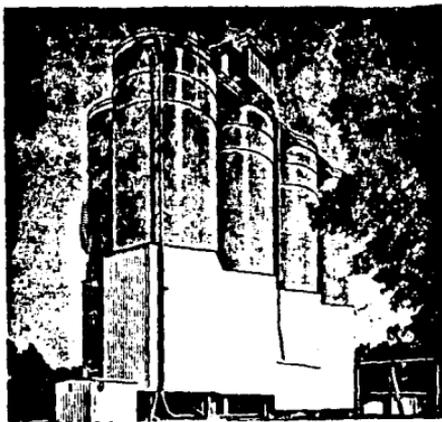


También existen tanques con forma de esfera. Este tipo de tanque es fabricado con placas de acero pero debido a su forma requiere de personal experimentado para su construcción. Debido a su forma esférica permite absorber mayores esfuerzos, es por ello que se emplean para almacenar sustancias en estado gaseoso con otra presión diferente a la atmosférica.

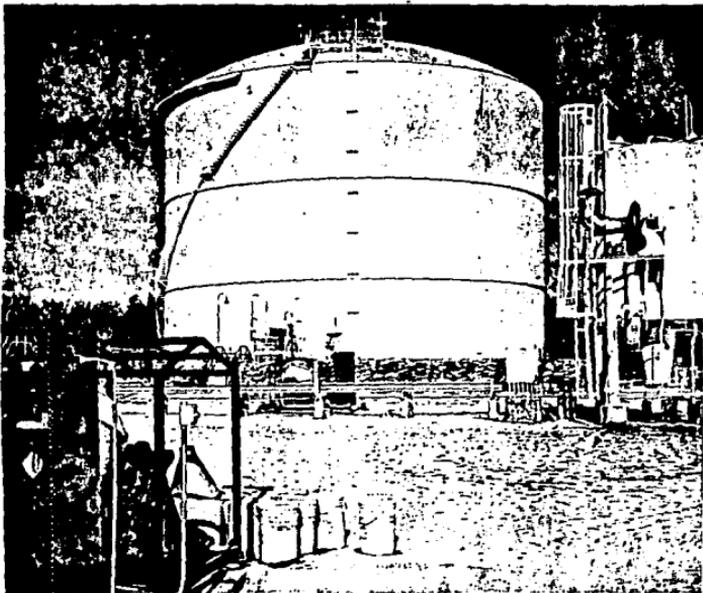


TANQUE ESFERICO

La forma cilíndrica es la más común pero los podemos encontrar en forma horizontal. de tamaño regular, que son usados para almacenar ácidos, existen los tanques cilíndricos de altura considerable en comparación de su base (silos), este tipo se acostumbra a usar para almacenar granos o en la industria cementera.



TANQUES CILINDRICOS



TANQUE CILINDRICO

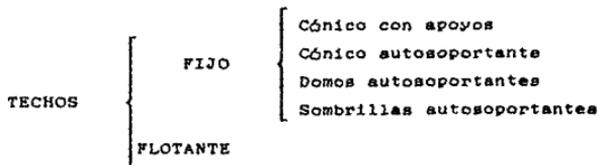
El tipo de tanque al que esta enfocada esta tesis es el cilindrico vertical para almacenar sustancias liquidas derivadas del petróleo de acuerdo con experiencias adquiridas se recomienda emplear tanques cilindricos como el mostrado.

La razón por la que se escogió este tipo de tanque es que, de los tipos de tanques descritos anteriormente, podemos observar que se utilizan para otra función, como es el caso de los tanque elevados con los que se pretende aprovechar la energía cinética que puede adquirir el líquido contenido, característica que en nuestro caso no es necesaria y que eleva demasiado el costo, así también podemos descartar los tanques esféricos debido a que se emplean para almacenar sustancias en estado gaseoso con presión diferente a la atmosférica. De forma similar los silos son inadecuados porque al almacenar líquidos, se presentan efectos de volteo.

Una vez que ha quedado establecido el tipo de tanque nos podemos enfocar, en características más específicas, ya que podemos encontrar una gran variedad de tamaños y formas de techo para un mismo tipo de tanque.

### 3.2.1 TIPOS DE TECHOS.

Existe una importante clasificación para los tipos de techos de tanques cilindricos de almacenamiento, que a continuación se señala:



#### Techo cónico con apoyo;

Es un techo con forma aproximada a la de un cono recto con sus apoyos principales (cabrios) sobre columnas y traveses o armaduras.

#### Techo cónico autoportante;

Es también de forma aproximada a un cono recto pero en este caso solamente se apoya en su periferia.

#### Techo de domo autoportado;

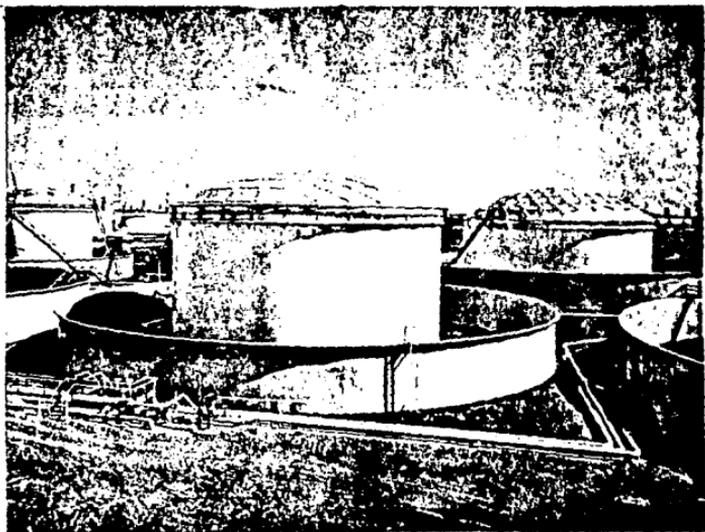
Es un techo de forma aproximadamente esférica soportado únicamente en la periferia.

#### Techo de sombrilla autoportada;

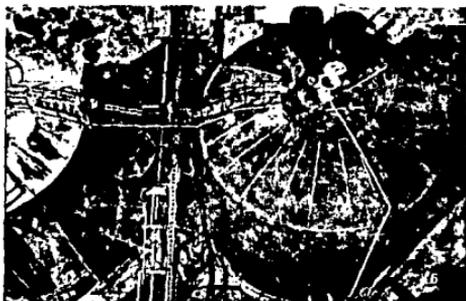
Se puede decir que es una modificación del techo de domo autoportado, con la particularidad de que este está formado de muchos lados con la característica de que ninguna sección horizontal es un polígono regular.

#### Techo flotante;

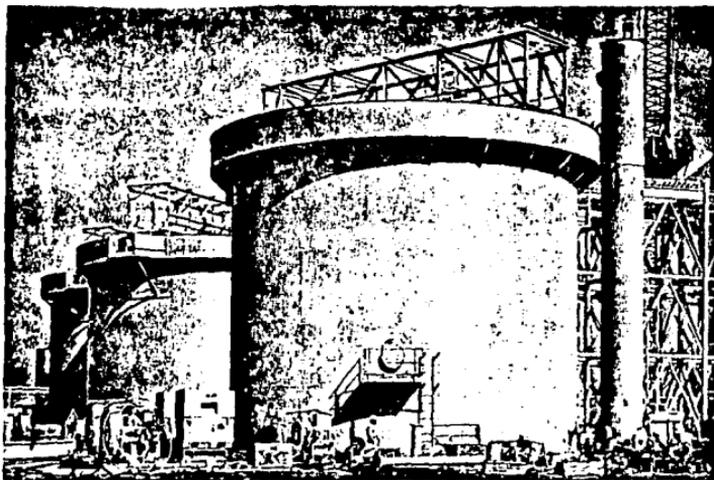
Son techos formados por placas de acero que tienen la característica de que pueden alcanzar el nivel del tanque y después regresar al nivel del líquido contenido sobre el cual flota el techo, justo abajo del borde superior de la envolvente sin dañar ninguna parte del techo, tanque o accesorios. Durante este procedimiento no se requiere de la intervención de la mano del hombre, es decir es un proceso mecanizado.



TECHO DE DOMO AUTOSOPORTANTE



TECHO DE SOMBRILLA



TECHO FLOTANTE

### 3.3.0 INSTITUTO AMERICANO DEL PETROLEO.

Al igual que en nuestro país existe el Instituto Mexicano del petróleo en la unión americana, existen otras empresas de las que podemos destacar el Instituto Americano del Petróleo (American Petroleum Institute).

Este instituto ha publicado manuales y especificaciones para la fabricación de tanques de almacenamiento, los cuales estan basados en la experiencia acumulada de compradores y fabricantes de tanques de acero soldado para el almacenamiento de los derivados del petróleo de varios tamaños y capacidades con presiones menores de 2.5 libras sobre pulgada cuadrada.

El objeto del manual API 650 (septima edición, 1980) es proporcionar las especificaciones para facilitar la construcción de tanques para la industria petrolera.

En México se pueden adoptar dichas especificaciones como requisitos mínimos para la fabricación de tanques, sin embargo, las empresas que requieren de algún tanque de almacenamiento, necesitan ciertos aditamentos o modificaciones, que se pueden realizar en la construcción del tanque, siempre y cuando cumplan con los requisitos mínimos establecidos en el manual API.

En base a que el manual API contiene bases y especificaciones de diseño se empleará como norma mínima para el diseño de nuestro tanque, además de utilizar normas de PEMEX y CFE , entre otras que complementan nuestros cálculos.

### 3.4.0 CALCULO DE LA CAPACIDAD DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTOLEO

#### Propósito del Cálculo.

El propósito del cálculo es determinar la capacidad de los tanques de almacenamiento de combustible para proceder con el calculo estructural de este.

#### Criterios Básicos de Diseño.

La capacidad de almacenamiento de los tanques, deberá ser como mínimo la necesaria para mantener la operación de un generador de vapor durante 20 días a un 80% de carga.

#### Consideraciones de Diseño y Datos.

Se consideran los datos de la oferta del generador de vapor (Cerrey-Mai) los cuales indican un consumo de combustible de:

59.17 T/Hr.	a 75% de Carga.
77.53 T/Hr.	a 100% de Carga.

#### Códigos y Estándares Aplicables.

Para determinar la capacidad se aplica lo establecido en los criterios de diseño del proyecto lo que coincide con lo antes mencionado.

Procedimiento de cálculo de la capacidad del tanque.

De la oferta del generador de vapor al 100% de carga tenemos:

$$77.53 \text{ T/Hr.}$$

Para un 80% de carga tenemos:

$$77.53 \text{ ---- } 100\%$$

$$X_1 \text{ ---- } 80\%$$

$$X_1 = \frac{77.53 * 80}{100}$$

$$X_1 = 62.024 \text{ T/Hr.}$$

De igual forma para un 75% de carga:

$$59.17 \text{ T/Hr.}$$

Para un 80% de carga tenemos:

$$59.17 \text{ ---- } 75\%$$

$$X_2 \text{ ---- } 80\%$$

$$X_2 = \frac{59.17 * 80}{75}$$

$$X_2 = 63.11 \text{ T/Hr.}$$

Considerando el valor más crítico tendremos el consumo para un 80% sera:

$$63 \text{ T/Hr.}$$

Para un día tendremos;

$$63*24 = 1512 \text{ T}$$

Para 20 días:

$$\text{cap} = 1512*20 = 30\,240 \text{ T}$$

$$\text{cap} = 30\,240\,000 \text{ Kg.}$$

Considerando un peso específico de  $0.90 \text{ Kg/Dm}^3$  (el cual es conservador) para el combustible tendremos:

$$\text{cap min} = \frac{30\,240\,000}{0.90} = 33\,600\,000 \text{ Dm}^3$$

$$\text{cap min} = 33\,600 \text{ m}^3 = 211\,337.64 \text{ bls}$$

La capacidad puede ser mayor, dependiendo de la confiabilidad del suministro y con las tablas de capacidades estandar del API-650 consideraremos:

$$\begin{aligned} \text{capacidad} &= 235\,000 \text{ bls} \\ &= 37\,362 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Conclusiones.

La capacidad preliminar para el diseño de el tanque es de:

$$c = 37\,362 \text{ m}^3$$

### 3.5.0 DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE.

Para almacenar el combustible de la planta se requiere de un tanque con una capacidad de 38 000 m<sup>3</sup> que aproximadamente son 235 000 barriles.

Para el dimensionamiento del tanque se usará el código API-650 última revisión.

#### Nota:

La tabla A-1 del API-650 ha sido calculada, basandose en un esfuerzo admisible de 21 000 libras por pulgada cuadrada, con un espesor de placa no mayor de 1/2 pulgada, por lo que en los valores correspondientes a las capacidades, al final de cada columna aparece el mayor diámetro que se puede tener para dicha altura; sin embargo, considerando que nuestro tanque tendrá placas con un espesor mayor a 1/2 pulgada, se han calculado algunas de las capacidades que no aparecen en dicha tabla para poder dimensionar nuestro tanque.

Dichas capacidades se calcularon con la siguiente fórmula:

$$\text{capacidad} = 0.14D^2H$$

Donde:

D: Diámetro en pies

H: Altura en pies

Procedimiento de cálculo de sus dimensiones.

En la tabla A-1 se busca la capacidad requerida que es de 235000 barriles.

En la columna 1 en el renglón correspondiente a 235000 barriles, se lee que el diámetro del tanque debe ser 200 pies.

En el renglón correspondiente a la altura del tanque, en la columna de 235 000 barriles se lee que la altura del tanque debe ser de 42 pies.

#### Conclusiones.

Del procedimiento anterior tenemos que el diámetro del tanque es de:

$$D = 200 \text{ pies} = 60.96 \text{ M}$$

Y la altura del mismo:

$$H = 42 \text{ pies} = 14 \text{ M}$$

Table A-1—Typical Sizes<sup>1</sup> and Corresponding Nominal Capacities<sup>2</sup>  
for Tanks with 72-inch Butt-Welded Courses

(1) Tank Diameter (feet)	(2) Approx. Capacity per Foot of Height (barrels)	(3)	(4)	(5)	(7) Tank Height (feet)			(8)	(9)	(10)	(11)
		12	18	24	Number of Courses in Completed Tank						
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	
10	14.0	170	250	335	420	505	—	—	—	—	—
15	31.5	380	565	755	945	1,130	—	—	—	—	—
20	56.0	670	1,010	1,340	1,690	2,010	2,350	2,690	—	—	—
25	87.4	1,050	1,570	2,100	2,630	3,150	3,670	4,200	4,720	5,250	—
30	126	1,510	2,270	3,020	3,780	4,530	5,290	6,040	6,800	7,550	—
35	171	2,060	3,080	4,110	5,140	6,170	7,200	8,230	9,250	10,280	—
40	224	2,690	4,030	5,370	6,710	8,060	9,400	10,740	12,100	13,430	—
45	283	3,400	5,100	6,800	8,500	10,200	11,900	13,600	15,300	17,000	—
50	350	4,200	6,300	8,400	10,500	12,600	14,700	16,800	18,900	21,000	—
60	504	6,040	9,060	12,100	15,110	18,130	21,150	24,190	27,230	30,260	$D = 58$
70	685	8,230	12,340	16,450	20,580	24,700	28,800	32,930	36,970	—	—
80	895	10,740	16,120	21,500	26,880	32,260	37,600	42,810	—	$D = 64$	—
90	1,133	13,600	20,400	27,270	34,030	40,820	47,510	—	$D = 73$	—	—
100	1,399	16,800	25,200	33,600	42,000	49,800	—	$D = 83$	—	—	—
120	2,014	24,190	36,290	48,380	60,480	—	$D = 98$	—	—	—	—
140	2,742	32,930	49,350	65,660	—	$D = 118$	—	—	—	—	—
160	3,581	43,000	64,510	84,600	—	—	—	—	—	—	—
180	4,532	54,430	81,650	—	$D = 149$	—	—	—	—	—	—
200	5,595	67,200	100,800	—	—	—	—	235,000	—	—	—
220	6,770	81,310	121,830	—	—	—	—	—	—	—	—

$D = 203$

## CAPITULO 4

### DISEÑO DE LA ESTRUCTURA METALICA

#### 4.0.0 MATERIALES.

Los materiales usados en la construcción de tanques de almacenamiento son usualmente metales, aleaciones metálicas ó materiales con revestimiento que sean apropiados para contener el fluido.

En lugares donde no existen problemas apreciables debidos a la corrosión, el más barato y de fácil obtención, son las placas de acero templado en caliente. Los tipos de placas de acero especificados por el API-650 para la construcción de tanques son:

A-283-C para el techo y fondo de tanques.

A-516-70 para las placas de la envolvente.

Estos aceros tienen bajo contenido de carbón por lo que son más blandos, dúctiles y son fácilmente cortados, rolados y moldeados en varias formas usadas en la fabricación de tanques. Estos aceros son también fácilmente soldados y permiten obtener juntas de resistencia uniforme.

#### 4.2.0 DISEÑO DE LA ENVOLVENTE.

La mayoría de los tanques y recipientes son cilíndricos, por que un cilindro tiene gran resistencia estructural y es de fácil fabricación. Varios tipos de esfuerzos son los que se presentan en una envoltente cilíndrica, estos se pueden clasificar como:

- 1.-Esfuerzo longitudinal como resultado de la presión interna del recipiente.
- 2.-Esfuerzo circunferencial resultado de la presión interna del recipiente.
- 3.-Esfuerzos residuales en la soldadura como resultado del precalentamiento.
- 4.-Esfuerzos como resultado de cargas accidentales tales como: viento, nieve, hielo, equipo auxiliar y cargas de impacto.
- 5.-Esfuerzos como resultado de los cambios de temperatura (dilataciones y contracciones).
- 6.-Otros que pueden ser encontrados en la práctica.

Existen dos métodos que nos permiten calcular el espesor de las placas de la envoltente y que toman en cuenta los esfuerzos anteriormente mencionados, estos son:

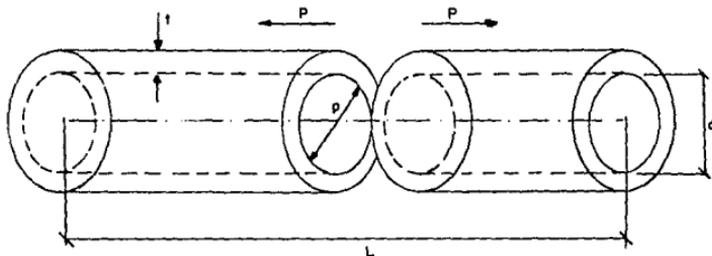
- a)Espesores por el método de un pie o teoría de la membrana.
- b)Espesores por el método de diseño de punto variable.

#### 4.2.1 CALCULO DE ESPESORES POR EL METODO DE UN PIE O TEORIA DE LA MEMBRANA.

Ecuaciones sencillas pueden ser obtenidas para determinar el mínimo espesor de la pared para un tanque cilíndrico de pared delgada, decimos que es de pared delgada debido a que la relación entre sus dimensiones con respecto al espesor de las paredes es muy grande.

##### ANALISIS DE ESFUERZO LONGITUDINAL

Este esfuerzo se determina haciendo pasar una sección a través del recipiente y que sea perpendicular a su eje tal como se muestra en la figura.



Donde:

$P$ =Fuerza que tiende a romper el cilindro longitudinalmente.

$L$ =Longitud.

$d$ =Diámetro interno.

t=Espesor de la envolvente.

p=Presión interna

$$P = \frac{p \pi d^2}{4}$$

como:

A=Area del metal que resiste la ruptura longitudinal

$$A = t \pi d$$

entonces el esfuerzo longitudinal será:

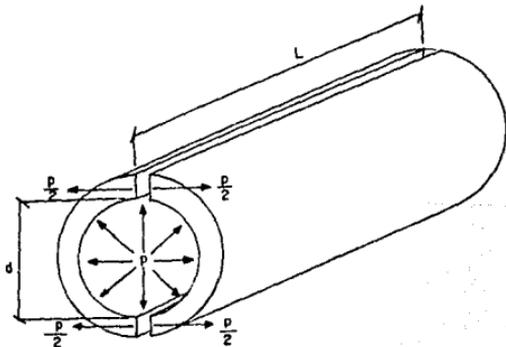
$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{(p \pi d^2) / 4}{t \pi d} = \frac{p d}{4 t}$$

despejando t tenemos:

$$t = \frac{p d}{4 \sigma} \dots \dots \dots (4.1)$$

ANALISIS DE ESFUERZO CIRCUNFERENCIAL O ESFUERZO DE ARO.

Si nos referimos a la siguiente figura:



Donde:

P=Es la fuerza que tiende a romper el tanque  
circunferencialmente.  $P=pdL$

A=Area del metal resistente de dicha fuerza.

$$A=2tL$$

Por lo tanto el esfuerzo circunferencial será:

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{pdL}{2tL} = \frac{pd}{2t}$$

despejando el espesor tenemos:

$$t = \frac{pd}{2\sigma} \dots\dots\dots(4.2)$$

Comparando las ecuaciones (4.1) y (4.2) dadas para un esfuerzo permisible específico, un diámetro y presión determinados, observamos que el espesor obtenido por la ecuación (4.2) es dos veces mayor que el requerido por la ecuación (4.1).

Por lo tanto el espesor se determina con la ecuación (4.2); Ecuación que no toma en cuenta la tolerancia debida a la corrosión y tampoco reconoce el hecho de que las juntas soldadas representan zonas de debilidad.

#### EFICIENCIA DE LAS JUNTAS Y TOLERANCIA DEBIDA A LA CORROSION.

En tanques de almacenamiento que se encuentran sometidos a la presión atmosférica, las juntas soldadas raramente son radiografiadas o sometidas a pruebas de esfuerzos.

El cordón de soldadura puede no ser tan resistente como la placa adjunta de la envolvente.

De acuerdo con la experiencia se ha encontrado que se debe contar con una tolerancia para tomar la posible debilidad del cordón, para ello se introduce un "factor de eficiencia de las juntas" (E) en la ecuación 4.2., Este factor es siempre menor que la unidad y es especificado por el tipo de construcción soldada en los manuales de soldadura.

Al espesor de la placa calculado se le agrega un espesor (C), debido a la corrosión y el valor final para el espesor de las placas será obtenido al redondear el valor obtenido al valor comercial superior en existencia.

Debido a las consideraciones anteriores tenemos que la ecuación (4.2) nos queda:

$$t = \frac{pd}{2\sigma E} + C \dots\dots\dots(4.3)$$

Donde:

- t=Espesor de la envolvente(pulgadas).
- p=Presión interna(libras/pulgada cuadrada).
- d=Diámetro interno(pulgadas).
- $\sigma$ =Esfuerzo de trabajo permisible(lb/in<sup>2</sup>).
- E=Eficiencia de las juntas.  
(valor comprendido entre 0.7 a 0.85).
- C=Tolerancia debida a la corrosión(pulgadas).

#### MODIFICACION DE LAS ECUACIONES

Para el caso de tanques de almacenamiento el máximo esfuerzo permisible se considera aproximadamente 1/3 del último esfuerzo de tensión del acero; Es decir que se emplea un factor de seguridad igual a 3, el cual es común para estructuras con cargas estáticas.

Los esfuerzos son calculados considerando que el tanque es llenado con agua a una temperatura de  $15^{\circ}$  centígrados, con una densidad de  $1000 \text{ kg/m}^3$  y la tensión en cada anillo es calculada en un punto situado 12 pulgadas abajo de la línea central de la mas baja junta horizontal de la hilera de las placas soldadas consideradas.

La presión hidrostática en tanques cilíndricos de almacenamiento varía de un valor mínimo en la parte superior de la más alta hilera hasta un valor máximo en la parte baja de la hilera inferior.

En la determinación del espesor de placa para alguna hilera en particular, un diseño basado en la presión en el fondo de la hilera resultaría sobrado para el resto de la placa y entonces no representaría la máxima economía. Un diseño basado en la presión en la parte superior de la hilera podría resultar escazo lo cual no sería práctico, sin embargo, se debe tomar en consideración la restricción proporcionada por las placas adyacentes a una hilera en particular.

En la hilera más baja, las placas del fondo ofrecen considerable restricción a las placas de la envolvente. Esta restricción adicional del borde inferior es efectiva para una distancia o altura apreciable para la hilera inferior.

En un anillo intermedio con un anillo de placas de mayor espesor abajo, la parte alta de las placas mas gruesas será subesforzada; Esto tenderá a cancelar cualquier sobreesforzamiento de la parte de abajo del anillo en cuestión.

Por lo tanto un diseño basado en la presión a una altura de un pie de la base del anillo se considera que es conservador.

La siguiente ecuación se puede derivar si se considera que la densidad del fluido almacenado no excede a la del agua ya que la prueba hidrostática del tanque se realiza con agua.

Para el caso del tanque de almacenamiento de manzanillo se empleará como fluido el combustóleo que tiene una densidad de 0.9

$$P = \rho \frac{(H-1)}{144}$$

Donde:

$\rho$  = Densidad del agua o líquido a almacenar.

H = Altura en pies de la parte inferior del anillo en consideración hasta la parte alta del ángulo superior o hasta la parte baja de cualquier conducto de derrame el cual limita la altura de llenado del tanque.

P = presión interna (lb/in<sup>2</sup>).

Cuando en la construcción las juntas a tope son doblemente soldadas podemos sustituir el valor de la presión calculado con la ecuación anterior en la ecuación (4.3).

$$t = \frac{pd}{2\sigma E} + C$$

$$t = \frac{62.37(H-1)(12D)}{2 \sigma E (144)} + C$$

$$t = \frac{2.6 D(H-1)G}{E \sigma} + C \dots\dots\dots(4.4)$$

Donde:

t = Espesor mínimo (pulgadas).

D = Diámetro nominal del tanque (pies).

H = Altura del tanque (pies).

G = 1

E=Eficiencia de la junta

0.85 si la junta es radiografiada.

0.70 si no es radiografiada.

$\sigma$ =Esfuerzo permisible=21000 lb/in<sup>2</sup>.

C=Tolerancia debida a la corrosión especificada por el fabricante.

#### 4.2.2 CALCULO DE ESPESORES POR EL METODO DE DISEÑO DE PUNTO VARIABLE.

Este método calcula el espesor de las placas de la envolvente en puntos designados en los cuales actúan los esfuerzos efectivos circunferenciales relativamente cercanos a los esfuerzos permisibles.

Este procedimiento proporciona una reducción en el espesor de los anillos de la envolvente lo cual representa una ventaja debido al ahorro económico y reducción del peso del material.

A todo lo anterior se debe el empleo de este método para la construcción de tanques de grandes dimensiones.

##### CALCULO DEL ESPESOR DEL ANILLO INFERIOR

La fórmula para calcular el espesor de las placas del anillo inferior son:

$$td = \left[ 1.06 - \frac{(0.463 D)}{H} \sqrt{\frac{HG}{Sd}} \right] \left[ \frac{2.6HDG}{Sd} \right] + CA$$

Para la prueba hidrostática es

$$tt = \left[ 1.06 - \frac{(0.463 D)}{H} \sqrt{\frac{HG}{St}} \right] \left[ \frac{2.6HDG}{S} \right] + CA$$

Donde:

D=Diametro de la envolvente.

H=Altura nominal del tanque.

Sd, St=Esfuerzos permisibles del material.

Sd para el líquido a almacenar.

St para la prueba hidrostática.

CA=Tolerancia por corrosión.

De los valores obtenidos se debe de tomar el mayor pero debe ser menor que el obtenido en la ecuación (4.4).

Una vez obtenido el espesor del primer anillo calculamos los siguientes; para el caso del segundo anillo, primero debemos calcular la relación

$$\frac{h_1}{\sqrt{rt_1}}$$

Donde:

h1=Altura del anillo inferior de la envolvente en pulgadas.

r=Radio nominal del tanque en pulgadas.

t1=Espesor del anillo inferior en pulgadas.

Si la relación es:

$\leq 1.375$  entonces  $t_2=t_1$

$\geq 2.625$  entonces  $t_2=t_2a$

$1.375 < \text{relación} < 2.625$  entonces:

$$t_2=t_2a + (t_1 - t_2a) \left[ 2.1 - \frac{h_1}{1.25\sqrt{rt_1}} \right]$$

Donde:

t2=Espesor mínimo del segundo anillo sin considerar tolerancia por corrosión, en pulgadas.

t2a=Espesor del segundo anillo, en pulgadas, calculado como si fuera un anillo superior.

## ESPESOR DE ANILLOS SUPERIORES

Primero se calcula la distancia  $x$  del punto de diseño variable desde la parte inferior del anillo, usando el menor valor obtenido de las siguientes tres expresiones:

$$X1 = 0.61 \sqrt{rtu} + 0.32 Chu$$

$$X2 = Chu$$

$$X3 = 1.22 \sqrt{rtu}$$

Donde:

$X$  = menor valor entre  $X1$ ,  $X2$ ,  $X3$

$tL$  = Espesor del anillo inferior, en pulgadas.

$tu$  = Espesor del anillo en cuestión, en pulgadas.

$$K = \frac{tL}{tu}$$

$$C = \frac{\sqrt{K} (K-1)}{1 + K \sqrt{K}}$$

$hu$  = Altura medida desde la parte inferior del anillo en cuestión hasta la parte superior de la envolvente considerando el ángulo superior o la parte inferior de cualquier accesorio que limite la altura de llenado del tanque, en pulgadas.

Una vez obtenida la distancia  $X$ , el espesor del anillo en cuestión será calculado por:

$$tx = \frac{2.6D \left[ H - \frac{X}{12} \right] G}{Sd} + CA$$

Espesor del anillo para la prueba hidrostática

$$t_t = \frac{2.6D \left[ H - \frac{X}{12} \right]}{S_t}$$

Ahora se debe repetir el procedimiento con el valor obtenido de  $t_x$  hasta que exista una diferencia muy pequeña entre los valores obtenidos de  $t_x$ . (normalmente con 2 repeticiones del procedimiento es suficiente).

Este procedimiento se hace en forma repetitiva para proporcionar una mayor exactitud en la localización del punto y consecuentemente una mayor exactitud en el espesor de las placas de la envolvente.

Por las razones expuestas al principio de la descripción del método se utilizará este método para diseñar el tanque.

#### 4.2.3 DATOS DE DISEÑO DE LA ENVOLVENTE.

El diseño se hará para la condición de prueba, es decir, el diseño se realiza para un tanque lleno de agua (prueba hidrostática).

Densidad del líquido.....G=1.0

Diámetro del tanque.....D=200 pies

Altura total del tanque.....H=48 pies

Número de anillos.....N=6

Eficiencia de las juntas.....E=0.8

Esfuerzo permisible de prueba

para acero A516-70 ..... $\sigma$ =28000 psi

Altura de cada anillo.....h=96 pulgadas

#### 4.2.4 CALCULO DE LA ENVOLVENTE.

##### PRIMER ANILLO

Tenemos que para la condición de prueba

$$t_1 = t_{1_t} \leq t_{p_t}$$

$$t_{p_t} = \frac{2.6 D (H - 1)}{S_t E}$$

$$t_{p_t} = \frac{2.6(200)(48-1)}{28000(0.8)} = 1.091 \text{ pulgadas}$$

$$t_{1_t} = \left[ 1.06 - \frac{(0.463D)}{H} \sqrt{\frac{H}{S_t E}} \right] \left[ \frac{(2.6HD)}{S_t E} \right]$$

$$t_{1_t} = \left[ 1.06 - \frac{0.463(200)}{48} \sqrt{\frac{48}{28000(0.8)}} \right] \left[ \frac{2.6(48)(200)}{28000(0.8)} \right]$$

$$t_{1_t} = 1.081 \text{ pulgadas} = 2.74 \text{ centímetros}$$

Debido a que se debe dejar una tolerancia por corrosión además de tomar en cuenta los espesores comerciales, el espesor de las placas del primer anillo será de 2.86cm = 1.125pulgadas.

##### SEGUNDO ANILLO

$$\frac{h_1}{\sqrt{rt_1}} = \frac{96}{\sqrt{1200(1.25)}} = 2.611$$

$$\text{como: } 1.375 < 2.611 < 2.625$$

entonces

$$t_2 = t_{2a} + (t_1 + t_{2a}) \left[ 2.1 - \frac{h_1}{1.25 \sqrt{rt_1}} \right]$$

cálculo de t2a

PRIMERA ITERACION

H=40 pies , hu=Hx12=40x12=480 pulgadas

$$t_{p_t} = \frac{2.6 D (H - 1)}{S_t E} = \frac{2.6(200)(39)}{28000(0.8)} = 0.90$$

$$t_{t_x} = 0.905357 \text{ pulgadas} = t_u$$

$$t_L = 1.125 \text{ pulgadas}$$

$$K = \frac{t_L}{t_u} = \frac{1.125}{0.9053} = 1.2437 \quad \sqrt{K} = 1.1152$$

$$C = \frac{\sqrt{K} (K-1)}{1 + K \sqrt{K}} = \frac{(1.1152)(1.2437 - 1)}{1 + (1.2437)(1.1152)} = 0.11388$$

$$\sqrt{rtu} = \sqrt{(1200)(0.9053)} = 32.95$$

$$Chu = 0.11388(480) = 54.6624$$

$$X1 = 0.61 \sqrt{rtu} + 0.32 Chu = 0.61(32.95) + 0.32(54.6624) = 37.59$$

$$X2 = Chu = 54.6624$$

$$X3 = 1.22 \sqrt{rtu} = 1.22(32.95) = 40.199$$

$$X = \min(X1, X2, X3) = 37.59 \quad \frac{X}{12} = \frac{37.59}{12} = 3.1325$$

$$t_{t_x} = \frac{2.6D \left[ H - \frac{X}{12} \right]}{S_t E} = \frac{2.6(200)(40 - 3.1325)}{28000(0.8)}$$

$$t_{t_x} = 0.8558 \text{ pulgadas} = 2.17 \text{ cm}$$

SEGUNDA ITERACION

H=40 pies , hu=Hx12=40x12=480 pulgadas

$$t_u = t_{t_x} = 0.8558$$

$$t_L = 1.125 \text{ pulgadas}$$

$$K = \frac{t_L}{t_u} = \frac{1.125}{0.8558} = 1.3142 \quad \sqrt{K} = 1.1464$$

$$C = \frac{\sqrt{K} (K-1)}{1 + K \sqrt{K}} = \frac{(1.1464)(1.3142 - 1)}{1 + (1.3142)(1.1464)} = 0.143$$

$$\sqrt{rtu} = \sqrt{(1200)(0.8558)} = 32.049$$

$$Chu = 0.143(480) = 68.640$$

$$X1 = 0.61 \sqrt{rtu} + 0.32 Chu = 0.61(32.049) + 0.32(68.640) = 41.51$$

$$X2 = Chu = 68.640$$

$$X3 = 1.22 \sqrt{rtu} = 1.22(32.049) = 39.099$$

$$X = \min(X1, X2, X3) = 39.099 \quad \frac{X}{12} = \frac{39.099}{12} = 3.258$$

$$ttx = \frac{2.60 \left[ R - \frac{X}{12} \right]}{S_t E} = \frac{2.6(200)(40 - 3.258)}{28000(0.8)}$$

$$ttx = 0.8529 \text{ pulgadas} = 2.16 \text{ cm}$$

$$t2a = 0.85435 \text{ pulgadas}$$

$$t2 = t2a + (t1 - t2a) \left[ 2.1 - \frac{h1}{1.25 \sqrt{rt1}} \right]$$

$$t2 = 0.854 + (1.125 - 0.854) \left[ 2.1 - \frac{96}{1.25 \sqrt{(1200)(1.25)}} \right] =$$

$$t2 = 0.8566 \text{ pulgadas} = 2.17 \text{ cm}$$

El espesor para las placas del segundo anillo es de 0.874 pulgadas ó 2.22 cm el cual toma en cuenta el espesor comercial.

TERCER ANILLO

A partir de este anillo la eficiencia de las juntas será de 0.75 debido a que es más difícil radiografiar las juntas.

PRIMERA ITERACION

H=32 pies , hu=Hx12=32x12=384 pulgadas

$$t_{x_t} = \frac{2.6 D (H - 1)}{S E} = \frac{2.6(200)(32 - 1)}{28000(0.75)} = 0.768$$

$t_L = 0.874$  pulgadas

$$K = \frac{t_L}{t_u} = \frac{0.874}{0.768} = 1.139 \quad \sqrt{K} = 1.067$$

$$C = \frac{\sqrt{K} (K-1)}{1 + K \sqrt{K}} = \frac{(1.067)(1.139 - 1)}{1 + (1.139)(1.067)} = 0.067$$

$$\sqrt{rtu} = \sqrt{(1200)(0.768)} = 30.358$$

$$Chu = 0.067(384) = 25.728$$

$$X1 = 0.61 \sqrt{rtu} + 0.32 Chu = 0.61(30.358) + 0.32(25.728) = 26.751$$

$$X2 = Chu = 25.728$$

$$X3 = 1.22 \sqrt{rtu} = 1.22(30.358) = 37.037$$

$$X = \min (X1, X2, X3) = 25.728 \quad \frac{X}{12} = \frac{25.728}{12} = 2.144$$

$$t_{tx} = \frac{2.6 D \left[ H - \frac{X}{12} \right]}{S_t E} = \frac{2.6(200)(32 - 2.144)}{28000(0.75)}$$

$$t_{tx} = 0.739 \text{ pulgadas} = 1.878 \text{ cm}$$

TERCER ANILLO

SEGUNDA ITERACION

$$H=32 \text{ pies} , hu=H \times 12 = 32 \times 12 = 384 \text{ pulgadas}$$

$$t_u = t_{tx} = 0.739$$

$$t_L = 0.874 \text{ pulgadas}$$

$$K = \frac{t_L}{t_u} = \frac{0.874}{0.739} = 1.183 \quad \sqrt{K} = 1.088$$

$$C = \frac{\sqrt{K} (K-1)}{1 + K \sqrt{K}} = \frac{(1.088)(1.183 - 1)}{1 + (1.183)(1.088)} = 0.087$$

$$\sqrt{rtu} = \sqrt{(1200)(0.739)} = 29.779$$

$$Chu = 0.087(384) = 33.408$$

$$X1 = 0.61 \sqrt{rtu} + 0.32 Chu = 0.61(29.779) + 0.32(33.408) = 28.856$$

$$X2 = Chu = 33.408$$

$$X3 = 1.22 \sqrt{rtu} = 1.22(29.779) = 36.330$$

$$X = \min(X1, X2, X3) = 28.856 \quad \frac{X}{12} = \frac{28.856}{12} = 2.405$$

$$t_{tx} = \frac{2.60 \left[ H - \frac{X}{12} \right]}{S_t E} = \frac{2.6(200)(32 - 2.405)}{28000(0.75)}$$

$$t_{tx} = 0.733 \text{ pulgadas} = 1.861 \text{ cm}$$

Debido a la existencia de un espesor comercial de 0.748 pulgadas, el espesor para las placas del tercer anillo es de 1.9 cm.

CUARTO ANILLO

PRIMERA ITERACION

H=24 pies , hu=Hx12=24x12=288 pulgadas

$$t_{x_t} = \frac{2.6 D (H - 1)}{S E} = \frac{2.6(200)(24 - 1)}{28000(0.75)} = 0.570$$

t<sub>L</sub>=0.748 pulgadas

$$K = \frac{t_L}{t_u} = \frac{0.748}{0.570} = 1.313 \quad \sqrt{K} = 1.146$$

$$C = \frac{\sqrt{K} (K-1)}{1 + K \sqrt{K}} = \frac{(1.146)(1.313 - 1)}{1 + (1.313)(1.146)} = 0.143$$

$$\sqrt{rtu} = \sqrt{(1200)(0.570)} = 26.153$$

$$Chu = 0.143(288) = 41.184$$

$$X1 = 0.61 \sqrt{rtu} + 0.32 Chu = 0.61(26.153) + 0.32(41.184) = 29.132$$

$$X2 = Chu = 41.184$$

$$X3 = 1.22 \sqrt{rtu} = 1.22(26.153) = 31.907$$

$$X = \min(X1, X2, X3) = 29.132 \quad \frac{X}{12} = \frac{29.132}{12} = 2.428$$

$$t_{tx} = \frac{2.6D \left[ H - \frac{X}{12} \right]}{S_t E} = \frac{2.6(200)(24 - 2.428)}{28000(0.75)}$$

$$t_{tx} = 0.534 \text{ pulgadas} = 1.357 \text{ cm}$$

CUARTO ANILLO

SEGUNDA ITERACION

H=24 pies , hu=Hx12=24x12=288 pulgadas

t<sub>u</sub> = t<sub>tx</sub> = 0.534

t<sub>L</sub> = 0.748 pulgadas

$$K = \frac{t_L}{t_u} = \frac{0.748}{0.534} = 1.401 \quad \sqrt{K} = 1.184$$

$$C = \frac{\sqrt{K} (K-1)}{1 + K \sqrt{K}} = \frac{(1.184)(1.401 - 1)}{1 + (1.401)(1.184)} = 0.179$$

$$\sqrt{rtu} = \sqrt{(1200)(0.534)} = 25.314$$

$$Chu = 0.179(288) = 51.421$$

$$X_1 = 0.61 \sqrt{rtu} + 0.32 Chu = 0.61(25.314) + 0.32(51.421) = 31.896$$

$$X_2 = Chu = 51.421$$

$$X_3 = 1.22 \sqrt{rtu} = 1.22(25.314) = 30.883$$

$$X = \min(X_1, X_2, X_3) = 30.883 \quad \frac{X}{12} = \frac{30.883}{12} = 2.574$$

$$t_{tx} = \frac{2.6D \left[ H - \frac{X}{12} \right]}{S_t E} = \frac{2.6(200)(24 - 2.574)}{28000(0.75)}$$

$$t_{tx} = 0.531 \text{ pulgadas} = 1.348 \text{ cm}$$

El espesor de las placas del cuarto anillo será de 0.630 pulgadas debido a que es el espesor comercial y vale 1.6 cm.

QUINTO ANILLO

PRIMERA ITERACION

H=16 pies . hu=Hx12=16x12=192 pulgadas

$$t_{x_t} = \frac{2.6 D (H - 1)}{S E} = \frac{2.6(200)(16 - 1)}{28000(0.75)} = 0.371$$

$t_L = 0.630$  pulgadas

$$K = \frac{t_L}{t_u} = \frac{0.630}{0.371} = 1.698 \quad \sqrt{K} = 1.303$$

$$C = \frac{\sqrt{K} (K-1)}{1 + K \sqrt{K}} = \frac{(1.303)(1.698 - 1)}{1 + (1.698)(1.303)} = 0.283$$

$$\sqrt{rtu} = \sqrt{(1200)(0.371)} = 21.100$$

$$Chu = 0.283(192) = 54.359$$

$$X1 = 0.61 \sqrt{rtu} + 0.32 Chu = 0.61(21.100) + 0.32(54.359) = 30.266$$

$$X2 = Chu = 54.359$$

$$X3 = 1.22 \sqrt{rtu} = 1.22(21.100) = 25.742$$

$$X = \min (X1, X2, X3) = 25.742 \quad \frac{X}{12} = \frac{25.742}{12} = 2.145$$

$$t_{tx} = \frac{2.6 D \left[ H - \frac{X}{12} \right]}{S_t E} = \frac{2.6(200)(16 - 2.145)}{28000(0.75)}$$

$$t_{tx} = 0.343 \text{ pulgadas} = 0.871 \text{ cm}$$

QUINTO ANILLO

SEGUNDA ITERACION

$$H=16 \text{ pies} , hu=H \times 12=16 \times 12=192 \text{ pulgadas}$$

$$t_u = t_{tx} = 0.343$$

$$t_L = 0.630 \text{ pulgadas}$$

$$K = \frac{t_L}{t_u} = \frac{0.630}{0.343} = 1.837 \quad \sqrt{K} = 1.355$$

$$C = \frac{\sqrt{K} (K-1)}{1 + K \sqrt{K}} = \frac{(1.355)(1.837 - 1)}{1 + (1.837)(1.355)} = 0.325$$

$$\sqrt{rtu} = \sqrt{(1200)(0.343)} = 20.288$$

$$Chu = 0.325(192) = 62.413$$

$$X1 = 0.61 \sqrt{rtu} + 0.32 Chu = 0.61(20.288) + 0.32(62.413) = 32.348$$

$$X2 = Chu = 62.413$$

$$X3 = 1.22 \sqrt{rtu} = 1.22(20.288) = 24.751$$

$$X = \min(X1, X2, X3) = 24.751 \quad \frac{X}{12} = \frac{24.751}{12} = 2.063$$

$$t_{tx} = \frac{2.6D \left[ H - \frac{X}{12} \right]}{S_t E} = \frac{2.6(200)(16 - 2.063)}{28000(0.75)}$$

$$t_{tx} = 0.345 \text{ pulgadas} = 0.876 \text{ cm}$$

El espesor de las placas del quinto anillo , debido al espesor comercial será de 0.433 pulgadas = 1.1 cm.

SEXTO ANILLO

PRIMERA ITERACION

H=8 pies , hu=Hx12=8x12=96 pulgadas

$$t_{x_t} = \frac{2.6 D (H - 1)}{S E} = \frac{2.6(200)(8 - 1)}{28000(0.75)} = 0.173$$

t<sub>L</sub>=0.433 pulgadas

$$K = \frac{t_L}{t_u} = \frac{0.433}{0.173} = 2.498 \quad \sqrt{K} = 1.581$$

$$C = \frac{\sqrt{K} (K-1)}{1 + K \sqrt{K}} = \frac{(1.581)(2.498 - 1)}{1 + (2.498)(1.581)} = 0.478$$

$$\sqrt{rtu} = \sqrt{(1200)(0.173)} = 14.408$$

$$Chu = 0.478(96) = 45.935$$

$$X1 = 0.61 \sqrt{rtu} + 0.32 Chu = 0.61(14.408) + 0.32(45.935) = 23.488$$

$$X2 = Chu = 45.935$$

$$X3 = 1.22 \sqrt{rtu} = 1.22(14.408) = 17.578$$

$$X = \min (X1, X2, X3) = 17.578 \quad \frac{X}{12} = \frac{17.578}{12} = 1.465$$

$$t_{tx} = \frac{2.6 D \left[ H - \frac{X}{12} \right]}{S_t E} = \frac{2.6(200)(8 - 1.465)}{28000(0.75)}$$

$$t_{tx} = 0.162 \text{ pulgadas} = 0.411 \text{ cm}$$

SEXTO ANILLO

SEGUNDA ITERACION

H=8 pies , hu=Hx12=8x12=96 pulgadas

$$t_u = t_{tx} = 0.162$$

$$t_L = 0.433 \text{ pulgadas}$$

$$K = \frac{t_L}{t_u} = \frac{0.433}{0.162} = 2.673 \quad \sqrt{K} = 1.635$$

$$C = \frac{\sqrt{K} (K-1)}{1 + K \sqrt{K}} = \frac{(1.635)(2.673 - 1)}{1 + (2.673)(1.635)} = 0.509$$

$$\sqrt{rtu} = \sqrt{(1200)(0.162)} = 13.943$$

$$Chu = 0.509(96) = 48.896$$

$$X1 = 0.61 \sqrt{rtu} + 0.32 Chu = 0.61(13.943) + 0.32(48.896) = 24.152$$

$$X2 = Chu = 48.896$$

$$X3 = 1.22 \sqrt{rtu} = 1.22(13.943) = 17.010$$

$$X = \min(X1, X2, X3) = 17.010 \quad \frac{X}{12} = \frac{17.010}{12} = 1.418$$

$$t_{tx} = \frac{2.60 \left[ H - \frac{X}{12} \right]}{S_t E} = \frac{2.6(200)(8 - 1.418)}{28000(0.75)}$$

$$t_{tx} = 0.1632 \text{ pulgadas} = 0.414 \text{ cm}$$

El espesor comercial que podemos utilizar para las placas del sexto anillo es 0.374 pulgadas = 0.95 cm.

En la parte superior de la envolvente, justamente después del último anillo se coloca un ángulo que nos permite colocar las placas del techo, este ángulo se conoce como ángulo de coronamiento y de acuerdo con las especificaciones API-650 sección (3.1.5.8-5) se recomienda usar las siguientes dimensiones de ángulos superiores correspondientes a diferentes dimensiones de tanques.

Para tanques con diámetro

$D \leq 35$ pies	usar ángulo 2x2x1/16 pulgadas
$35 < D \leq 60$ pies	usar ángulo 2x2x1/4 pulgadas
$D > 60$ pies	usar ángulo 3x3x3/8 pulgadas

Por lo que para nuestro tanque se utilizará un ángulo APS de 3x3x3/8.

Como complemento a los cálculos y especificaciones anteriores, se muestra a continuación la figura (4.1) que nos permite aclarar algunos detalles.

Una vez obtenido el espesor de las placas y las características del ángulo superior se desarrollará la superficie por cubrir para ello se debe considerar el diámetro medio.

$$\begin{aligned} \text{Diámetro} &+ \text{Espesor} \\ 60960 &+ 28.6 = 60988.6 \text{ milímetros} \\ \pi D &= 3.1416(60988.6) = 191601.34 \end{aligned}$$

tomando como dato que la longitud de cada placa es de 9130 mm.

$$\text{El número de placas necesario es } \frac{191601.34}{9130} = 20.986$$

por lo que podemos concluir que se necesitan 21 placas para cada anillo tomando en cuenta que la placa de cierre se ajusta en campo.

PLACAS DE ENVOLVENTE

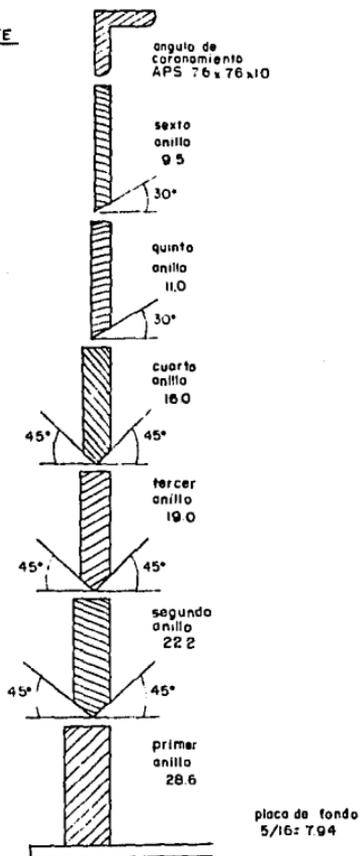


FIG. 4.1

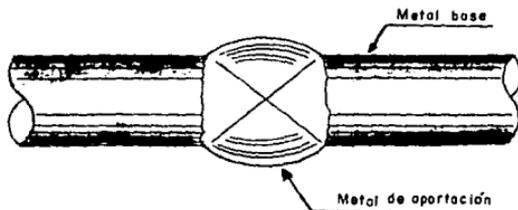
#### 4.3.0 TIPOS DE SOLDADURA.

Las placas que se utilizan para formar el tanque deben de unirse entre sí, para lograr que todos los elementos trabajen en conjunto. Para ello se emplea soldadura de cualquiera de los tipos que a continuación se describen, dependiendo de las condiciones de diseño y economía.

TIPOS	}	a) soldadura a tope
DE		
SOLDADURA		b) soldadura de filete ó chaflián

#### 4.3.1 SOLDADURA A TOPE.

En la soldadura "a tope" se considera que el metal de aportación suplanta al metal base, ya que el primero es más resistente.



Por este motivo, la soldadura "a tope" no requiere de cálculo, solamente se necesita seguir las recomendaciones relativas a la preparación de placas, ángulo de preparación, abertura de la raíz, etc. , que permiten obtener una junta trabajando adecuadamente. La falla de una junta "a tope", debe ocurrir en el metal base,

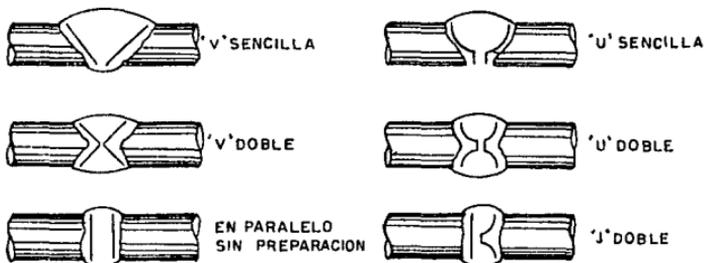
pero nunca en la soldadura; En el caso de que la falla se presente en la soldadura se deberá a defecto en la ejecución de la soldadura (poros, cráteres, incrustaciones de escoria, etc.).

Existe gran cantidad de juntas "a tope" que han sido suficientemente probadas y por lo tanto, está garantizada su efectividad; A estas juntas ,cuya eficiencia esta probada, se les denomina JUNTAS CALIFICADAS.

Las juntas verticales de las placas de la envolvente deberán ser juntas a tope con una completa penetración y completa fusión, que se logrará con soldadura doble o por otro medio que permita obtener la misma calidad del metal de aportación en la parte interna y externa de la superficie.

A continuación se presentan las juntas típicas verticales para la envolvente

#### JUNTAS VERTICALES



Además las uniones verticales de tres anillos consecutivos no deben estar alineadas. Esta es una precaución contra condiciones específicas de esfuerzos en las uniones y para asegurar una distribución uniforme de esfuerzos en toda la superficie del tanque.

Para las juntas horizontales de las placas de la envolvente se debe tener también una completa penetración y fusión excepto para el ángulo de coronamiento el cual podrá ser conectado a la envolvente por una junta de filete.

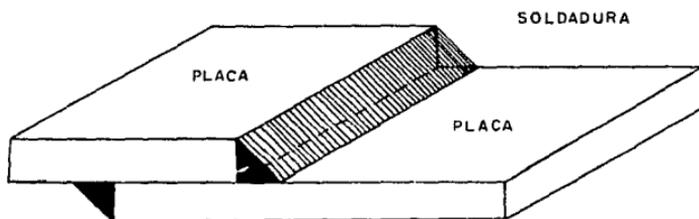
Algunas juntas típicas horizontales:

#### JUNTAS HORIZONTALES



#### 4.3.2 SOLDADURA DE FILETE O CHAPLAN.

Esta soldadura recibe su nombre por su forma de triángulo con dos lados iguales. La soldadura de filete es muy utilizada para unir elementos sin necesidad de realizar preparaciones a las piezas, por esto la soldadura de filete es empleada para unir principalmente las placas del fondo.



SOLDADURA DE FILETE

#### 4.4.0 DISEÑO DEL FONDO.

La forma y diseño del fondo de un tanque de almacenamiento dependerá de las siguientes características:

- Tipo de cimentación usado para soportar el tanque.
- El método para llenar y vaciar el tanque.
- El ángulo de sedimentación de los sólidos en suspensión.
- Corrosión del fondo en contacto con el suelo.
- Dimensiones del tanque.

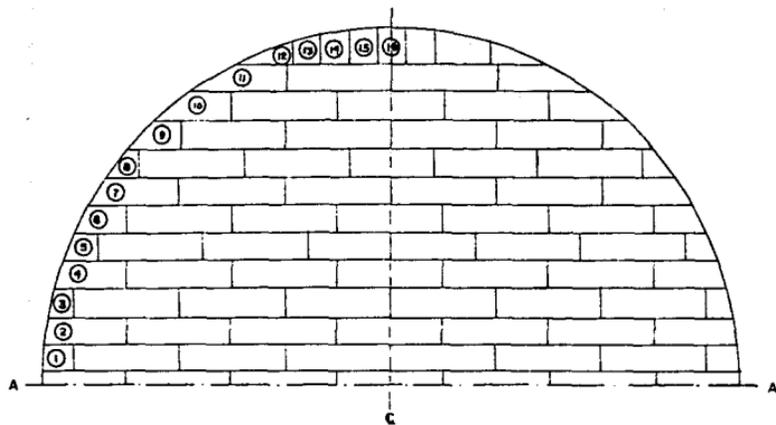
Si las consideraciones mencionadas establecen el uso de un fondo plano y la capacidad de carga del suelo es cuando menos de  $15 \text{ ton/m}^2$  el fondo se colocará sobre una capa de arena o grava sobre el suelo.

A través de los años la experiencia ha mostrado que las placas del fondo con un espesor de 5/16 son adecuadas para la construcción de tanques.

Se prefiere que dichas placas sean de 96 pulgadas de ancho y que tengan entre 20 y 30 pies de largo, por funcionalidad, además si las placas del fondo son colocadas simétricamente con respecto a las líneas centrales, el número de cortes se reduce a un valor mínimo, esto es una ventaja por que las placas pueden ser marcadas y colocadas en grupos de cuatro, mientras que si son simétricas con respecto solo a una línea central, solo dos placas pueden ser marcadas y cortadas al mismo tiempo.

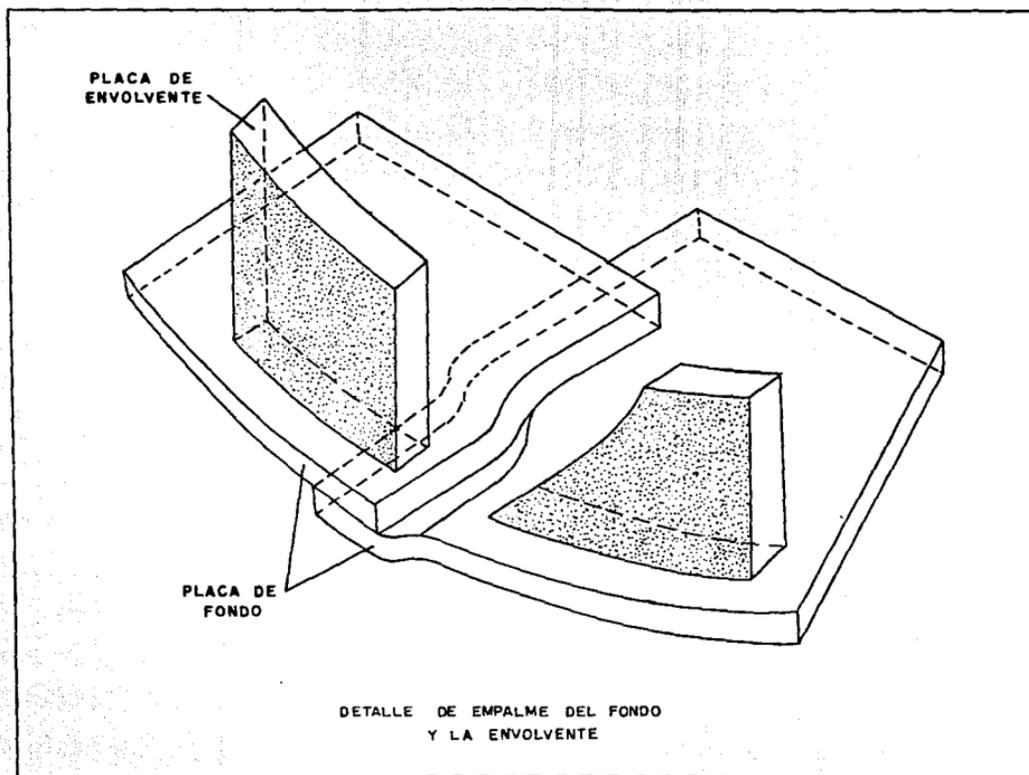
Por esta razón la disposición de las placas del fondo es la que se tiene en la figura 4.2.

NOTA: Las placas con numero  
son las que requieren  
de cortas especiales



DISPOSICION DE LAS PLACAS DEL FONDO

FIG. 4.2



Donde el corte (A-A) que se tiene es para señalar la simetría.  
Las placas que se encuentran en el perímetro del tanque requieren de cortes especiales para poder dar la forma a la circunferencia.

#### 4.5.0 DISEÑO DEL TECHO.

Como se mencionó en el capítulo anterior el tipo de techo utilizado para el tanque de almacenamiento en cuestión será un techo cónico soportado.

Cualquiera que sea la forma del techo o método de soporte, el techo del tanque se diseña para soportar una carga viva mínima de 25 libras/pié cuadrado ( $120 \text{ Kg/m}^2$ ) como incremento de la carga muerta. Esta carga viva es un promedio que considera las combinaciones de carga por viento, nieve y también el peso del personal que tiene que andar sobre el techo para inspeccionar el tanque o bien para llegar a la entrada de hombre del techo.

Cuando debido a las dimensiones se requiere de un techo cónico con soporte estructural la pendiente que se recomienda para el techo es de 6.25 % .

Las placas del techo deben formar una cresta para reducir el número de correas, además las placas no se conectan con las correas directamente. Por especificación las placas del techo deben tener un espesor mínimo de 3/16 de pulgada (0.48 cm.).

Debido al material que existe en el mercado las placas del techo serán de 1/4 de pulgada de espesor con un peso por metro cuadrado de  $50 \text{ Kg/m}^2$ . Como en el caso del fondo las placas del techo deben mantenerse en una disposición simétrica para tener un ahorro de material como se puede ver en la figura 4.3 donde se muestra la disposición de las placas del techo.

DISPOSICION DE LAS PLACAS DEL TECNO

NOTA: Las placas del techo  
seran de 1/4"  
de espesor.

Los cortes especiales  
se hacen en campo

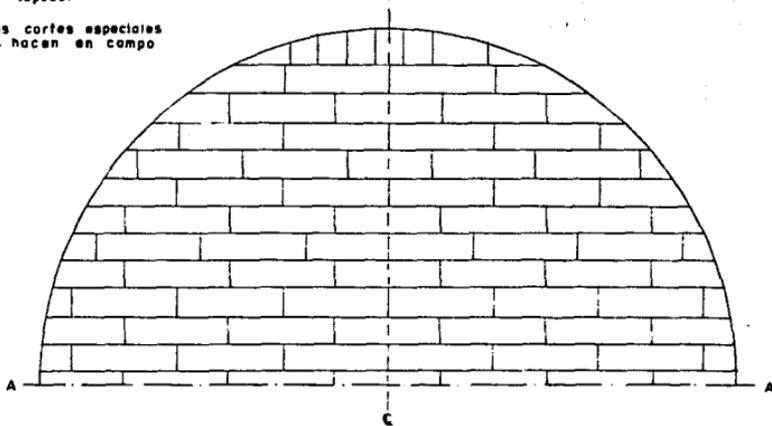


FIG. 4.3

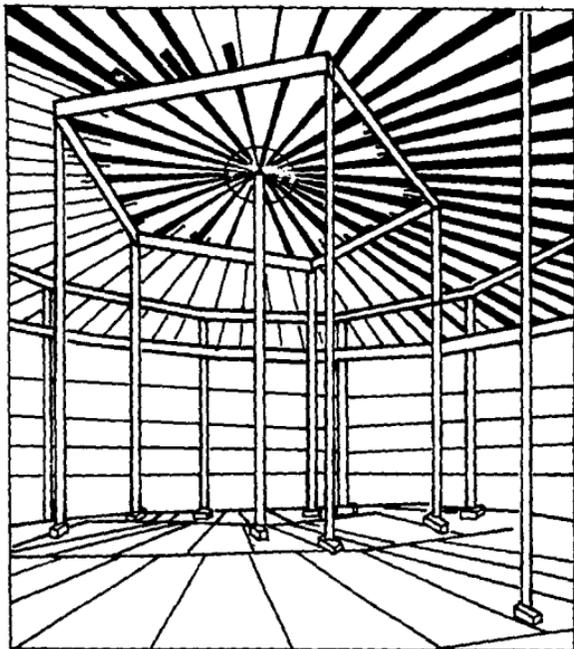


FIG. 4.4

La figura 4.4 muestra el ensamble de la estructura soportante del techo para un tanque similar al de Manzanillo, esta figura se realizó antes de la instalación de las placas del techo. Los tanques de almacenamiento y otros recipientes de gran tamaño con techos cónicos regularmente son diseñados sin considerar la flexión de las placas del techo, por lo tanto un diseño de las correas espaciadas suficientemente cercanas unas de otras evitará el incremento de esfuerzos en los extremos de las placas como resultado de la flexión.

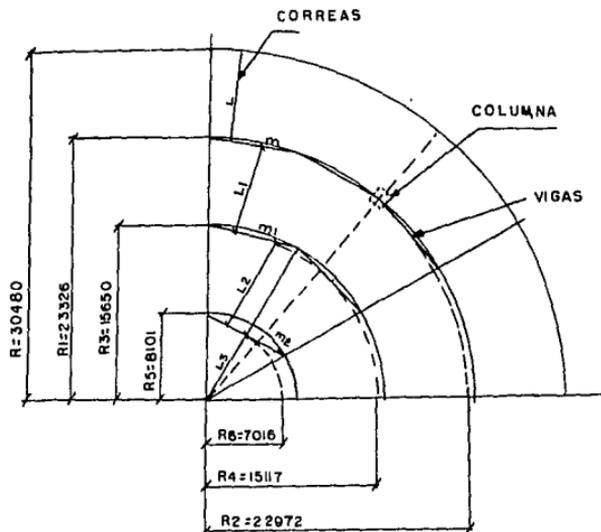
Se supone que las placas del techo trabajan como vigas continuas horizontales con una carga uniforme y empotradas, mientras que las correas y vigas se supone que trabajan como vigas uniformemente cargadas con apoyos libres, por lo que el diseño del techo toma en consideración la flexión y cortante actuante en las placas del techo, correas y vigas.

Un tanque tan grande como el nuestro requiere de una estructura soportante a base de columnas, vigas y correas.

#### 4.5.1 VIGAS Y CORREAS.

Limitando la longitud de las vigas a 8.101 m. ya que para claros mayores de 9 m. se requieren secciones demasiado pesadas, esto nos obliga a la colocación de las correas en base al uso de 3 polígonos de vigas.

Usando un radio de 8.101 m. para circunscribir el polígono interior que consta de 6 lados. Para mantener la simetría en el segundo polígono se colocaran vigas con la misma longitud de 8.101 m. pero se requiere completar un polígono de 12 lados y para el tercer anillo se tendrán 18 lados repartidos en 6 sectores de



#### RESUMEN

correas exteriores = 126  
 correas segunda fila = 108  
 correas tercera fila = 60  
 correas interiores = 30

columnas exteriores = 18  
 columnas intermedias = 12  
 columnas interiores = 6  
 columna central = 1

vigas exteriores = 18  
 vigas segunda fila = 12  
 vigas interiores = 6

FIG. 4.5

60° como se muestra en la figura 4.5

Para obtener los radios que circunscriben los polígonos formados por las vigas hacia la parte interior del cono tenemos que la longitud de un lado de un polígono de lados iguales es:

$$L = 2 R \operatorname{sen} \frac{360}{2 N}$$

Donde:

L = Longitud del lado de un polígono regular.

N = Número de lados del polígono.

R = Radio del círculo que circunscribe al polígono.

Por lo tanto podemos obtener a que distancia del centro deben quedar los polígonos, despejando tenemos:

$$R = \frac{L}{2 \operatorname{sen} \frac{360}{2 N}}$$

Para el caso de las vigas exteriores N=18

$$R_1 = \frac{8.101}{2 \operatorname{sen} \frac{360}{2(18)}} = 23.326$$

Para las vigas de la segunda fila N=12

$$R_2 = \frac{8.101}{2 \operatorname{sen} \frac{360}{2(12)}} = 15.650$$

Finalmente para las vigas del polígono interior N=6

$$R_3 = \frac{8.101}{2 \operatorname{sen} \frac{360}{2(6)}} = 8.101$$

## CORREAS

Son perfiles sobre los cuales se encuentra apoyado el techo, el mínimo número de correas adyacentes a la envolvente se obtiene dividiendo la circunferencia de la envolvente entre el mayor espaciamiento de las correas considerando que trabajan como una viga empotrada en los extremos con una carga uniformemente repartida.

Por lo anterior tenemos que el momento con el que se deben diseñar es:  $M_{max} = -\frac{w l^2}{12}$  y se presenta en los apoyos de las correas.

$$M_{max} = -\frac{w l^2}{12} = -\frac{p (1)(1^2)}{12} = -\frac{p l^2}{12}$$

Donde:  $l$  = Longitud de la correa.

$p$  = Carga unitaria cuando el ancho es unitario.

Además el esfuerzo que actúa como resultado de la flexión es:

$$\sigma = \frac{M}{S_x}$$

pero el módulo de sección elástico para una sección rectangular vale

$$S_x = \frac{I}{c} = \frac{bh^3}{12} \frac{2}{h} = \frac{bh^2}{6}$$

$$\text{si } b=1 \quad S_x = \frac{h^2}{6}$$

sustituyendo en la ecuación del esfuerzo tenemos:

$$\sigma = \frac{\frac{p l^2}{12}}{\frac{h^2}{6}} = \frac{6 p l^2}{12 h^2} = \frac{p l^2}{2 h^2}$$

despejando el valor de la maxima separación (l) tenemos:

$$l = h \sqrt{\frac{2 \sigma}{p}}$$

si  $h = 1/4$  de pulgada como espesor de las placas del techo.

$p = 25$  libras/pié cuadrado  $+ 10.24$  libras/pié cuadrado.

$p = 35.24$  lb/ft<sup>2</sup>

$\sigma$  permisible = 22000 lb/in<sup>2</sup>

sustituyendo estos valores la longitud de las correas será

$$l = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{2 (22000)}{(35.24)(144)}}$$

$l = 106$  pulgadas = 2.7 metros.

Por especificación del manual API-650  $l = 2\pi(12) = 75.4$  pulgadas.

Tomando la menor de las longitudes obtenidas obtendremos el mínimo número de correas que puede haber en el anillo exterior, dividiendo la circunferencia de la envolvente entre la mayor separación de correas calculada anteriormente.

$$N_{\min} = \frac{2 \pi r}{l} = \frac{2(3.14)(100)(12)}{75.4} = 100$$

$$\frac{100 \text{ correas}}{18 \text{ vigas}} = 6 \text{ correas por viga}$$

6 es el número mínimo de correas en una viga por lo que estaríamos en el límite y cualquier detalle puede causar errores, si consideramos que en cada viga se coloquen 7 correas tendremos un total de 126 correas para el anillo exterior.

## CORREAS EXTERIORES

$$\text{longitud} = R_e - R_i$$

$$R_e = \text{radio exterior} = 30.48$$

$$R_i = \text{radio interior} = R_1 \cos \frac{360}{2v}$$

$$R_2 = 23.326 \cos \frac{360}{2(18)} = 22.972$$

$$\text{longitud} = 30.48 - 22.972 = 7.508 \text{ m.}$$

$$\text{separación exterior} \quad S_e = \frac{\pi D}{N} = \frac{\pi (60.960)}{126} = 1.52$$

$$\text{separación interior} \quad S_i = \frac{\text{longitud de la viga}}{7 \text{ correas}} = \frac{8.101}{7} = 1.157$$

$$\text{separación media} \quad S_m = \frac{1.520 + 1.157}{2} = 1.339$$

carga sobre el techo

$$\text{carga viva} = 25 \text{ lb/ft}^2 = 123 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{carga muerta placa de } 1/4'' = 50 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{carga en el techo (Q)} = 173 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Carga por metro lineal } S_m(Q) = 1.339(173) = 232 \text{ Kg/m}$$

Elegiendo un perfil CPS 8" x 7.11 Kg/m con las siguientes características:

$$A = 21.68 \text{ Cm}^2$$

$$I_x = 1344.4 \text{ Cm}^4$$

$$S_x = 132.3 \text{ Cm}^3$$

$$r_x = 7.87 \text{ Cm}^4$$

$$\text{esfuerzo permisible } \sigma = 22000 \text{ psi} = 1548 \text{ Kg/Cm}^2$$

$$M_{\max} = \frac{w l^2}{8} = \frac{(232 + 17.11)(7.508)^2}{8} = 1755 \text{ Kg.m}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{S_x} = \frac{(1755)(100)}{132.3} = 1326.7 \text{ menor que } 1548$$

$$\text{Flecha} \quad \Delta_{\max} = \frac{5}{384} \frac{w l^4}{E I} = \frac{5(2.4911)(750.8)^4}{384(2.1 \times 10^6)(1344.4)} = 3.65 \text{ Cm}$$

$$\Delta_{\text{perm}} = \frac{L}{180} = \frac{750.8}{180} = 4.17 \text{ Cm} > 3.65 \text{ Cm.}$$

Reacción en los apoyos

$$\frac{w l}{2} = \frac{249.11(7.508)}{2} = 935 \text{ Kg.}$$

SEGUNDA FILA DE CORREAS

$$\text{longitud} = R_e - R_i$$

$$R_e = \text{radio exterior} = 23.326$$

$$R_i = \text{radio interior} = R_1 \cos \frac{360}{2v}$$

$$R_2 = 15.650 \cos \frac{360}{2(12)} = 15.117$$

$$\text{longitud} = 23.326 - 15.117 = 8.209 \text{ m.}$$

$$\text{separación exterior} \quad S_e = \frac{8101}{6} = 1.350$$

$$\text{separación interior} \quad S_i = \frac{8101}{9} = 0.900$$

$$\text{separación media} \quad S_m = \frac{1350 + 900}{2} = 1125$$

carga sobre el techo

$$\text{carga viva} = 25 \text{ lb/ft}^2 = 123 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{carga muerta placa de } 1/4'' = \frac{50 \text{ Kg/m}^2}{173 \text{ Kg/m}^2}$$

$$\text{carga en el techo (Q)}$$

Carga por metro lineal  $S_m(Q)=1.125(173)=195 \text{ Kg/m}$

Eligiendo un perfil CPS 8" x 7.11 Kg/m con las siguientes características:

$$A=21.68 \text{ Cm}^2$$

$$I_x=1344.4 \text{ Cm}^4$$

$$S_x=132.3 \text{ Cm}^3$$

$$r_x= 7.87 \text{ Cm}^4$$

esfuerzo permisible  $\sigma=22000 \text{ psi}=1548 \text{ Kg/Cm}^2$

$$M_{\max} = \frac{w l^2}{8} = \frac{(195 + 17.11)(8.209)^2}{8} = 1787 \text{ Kg.m}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{S_x} = \frac{(1787)(100)}{132.3} = 1351.0 \text{ menor que } 1548$$

$$\text{Flecha} \quad \Delta_{\max} = \frac{5}{384} \frac{w l^4}{E I} = \frac{5(2.1211)(820.9^4)}{384(2.1 \times 10^6)(1344.4)} = 4.44 \text{ Cm}$$

$$\Delta_{\text{perm}} = \frac{L}{180} = \frac{820.9}{180} = 4.56 \text{ Cm} > 4.44 \text{ Cm.}$$

Reacción en los apoyos

$$\frac{w l}{2} = \frac{212.11(8.209)}{2} = 871 \text{ Kg.}$$

TERCERA FILA DE CORREAS

$$\text{longitud} = R_e - R_i$$

$R_e$ =radio exterior =15.650

$$R_i = \text{radio interior} = R_1 \cos \frac{360}{2v}$$

$$R_2 = 8.101 \cos \frac{360}{2(6)} = 7.016$$

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

longitud = 15.650 - 7.016 = 8.634 m.

separación exterior  $Se = \frac{8101}{5} = 1.620$

separación interior  $Si = \frac{8101}{10} = 0.810$

separación media  $Sm = \frac{1.62 + .81}{2} = 1.215$  m

carga sobre el techo

carga viva = 25 lb/ft<sup>2</sup> = 123 Kg/m<sup>2</sup>

carga muerta placa de 1/4" = 50 Kg/m<sup>2</sup>

carga en el techo (Q) = 173 Kg/m<sup>2</sup>

Carga por metro lineal  $Sm(Q) = 1.215(173) = 210$  Kg/m

Eligiendo un perfil CPS 8" x 27.90 Kg/m con las siguientes características:

$A = 35.42$  Cm<sup>2</sup>

$I_x = 1818.9$  Cm<sup>4</sup>

$S_x = 179.0$  Cm<sup>3</sup>

$r_x = 7.16$  Cm<sup>4</sup>

esfuerzo permisible  $\sigma = 22000$  psi = 1548 Kg/Cm<sup>2</sup>

$M_{max} = \frac{w l^2}{8} = \frac{(210 + 27.90)(8.634)^2}{8} = 2217$  Kg.m

$\sigma_{max} = \frac{M}{S_x} = \frac{(2217)(100)}{179.0} = 1239.0$  menor que 1548

Flecha  $\Delta_{max} = \frac{5}{384} \frac{w l^4}{E I} = \frac{5(2.3790)(8.634)^4}{384(2.1 \times 10^6)(1818.9)} = 4.50$  Cm

$\Delta_{perm} = \frac{L}{180} = \frac{863.4}{180} = 4.80$  Cm > 4.50 Cm.

Reacción en los apoyos

$$\frac{w_1}{2} = \frac{237.90(8.634)}{2} = 1027 \text{ Kg.}$$

CORREAS INTERIORES

Longitud de las correas

$$L = R_e - R_i = R_3 = 8.101 \text{ m.}$$

$$\text{separación exterior } S_e = \frac{8101}{5} = 1.620 \text{ m}$$

Carga total

$$W = S_e \frac{R}{2} (Q) = 1.620 \frac{(8.101)}{2} (173) = 1135$$

Del manual AHMSA

$$M_{\max} = 0.128WR = 0.128(1135)(8.101) = 1177 \text{ Kg.m}$$

Eligiendo un perfil CPS 8" x 7.11 Kg/m con las siguientes características:

$$A = 21.68 \text{ Cm}^2$$

$$I_x = 1344.4 \text{ Cm}^4$$

$$S_x = 132.3 \text{ Cm}^3$$

$$r_x = 7.87 \text{ Cm}^4$$

$$\text{esfuerzo permisible } \sigma = 22000 \text{ psi} = 1548 \text{ Kg/Cm}^2$$

Momento debido al peso propio

$$M_{\max} = \frac{w_1^2}{8} = \frac{17.11 (8.101)^2}{8} = 140.3 \text{ Kg.m}$$

$$\text{Momento total} = 1177 + 140 = 1317 \text{ Kg.m}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{S_x} = \frac{(1317)(100)}{132} = 995.0 \text{ menor que } 1548$$

Reacciones

$$R_A = \frac{W}{3} + \frac{W L}{2} = \frac{1135}{3} + \frac{17.11(8.101)}{2} = 448 \text{ Kg}$$

$$R_b = \frac{2W}{3} + \frac{W L}{2} = \frac{2(1135)}{3} + \frac{17.11(8.101)}{2} = 826 \text{ Kg}$$

Flecha:

$$\Delta_{\max} = 0.01304 \frac{W_1 L^3}{EI} \quad W_1 = 1135 + 8.1(17.11) = 1274 \text{ Kg}$$

$$\Delta_{\max} = 0.01304 \frac{(1274)(810.3)^3}{(2.1 \times 10^6)(1344.4)} = 3.13 \text{ Cm}$$

$$\Delta_{\text{perm}} = \frac{L}{180} = \frac{810.1}{180} = 4.5 \text{ Cm mayor que } 3.13 \text{ Cm}$$

#### CALCULO DE LAS VIGAS

Vigas exteriores:

$$\text{Carga por correas exteriores} = 7(935) = 6545 \text{ Kg}$$

$$\text{Carga por correas interiores} = \underline{6(871) = 5226 \text{ Kg}}$$

$$\Sigma = 11771 \text{ Kg}$$

$$\text{Carga por metro lineal} = \frac{11771}{8.101} = 1453 \text{ kg/m}$$

Eligiendo un perfil IPR 16" x 7" x 53.6 Kg/m con las siguientes características:

$$I_x = 18576 \text{ Cm}^4$$

$$S_x = 923 \text{ Cm}^3$$

$$r_x = 16.48 \text{ Cm}^2$$

esfuerzo permisible  $\sigma = 22000 \text{ psi} = 1548 \text{ Kg/Cm}^2$

$$M_{\max} = \frac{w l^2}{8} = \frac{(1453 + 53.6)(8.101)^2}{8} = 12359 \text{ Kg.m}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{S_x} = \frac{(12359)(100)}{923.0} = 1339.0 \text{ menor que } 1548$$

$$\text{Flecha} \quad \Delta_{\text{max}} = \frac{5}{384} \frac{w l^4}{E I} = \frac{5(15.066)(810.1)^4}{384(2.1 \times 10^6)(18576)} = 2.17 \text{ Cm}$$

$$\Delta_{\text{perm}} = \frac{L}{250} = \frac{810.1}{250} = 3.24 \text{ Cm} > 2.17 \text{ Cm.}$$

$$\text{Reacción} \quad \frac{W L}{2} = \frac{1506.6(8.101)}{2} = 6102 \text{ Kg}$$

#### SEGUNDA FILA DE VIGAS

$$\text{Carga por correas exteriores} = 9(871) = 7839 \text{ Kg}$$

$$\text{Carga por correas interiores} = \underline{5(1027) = 5135 \text{ Kg}}$$

$$\Sigma = 12974 \text{ Kg}$$

$$\text{Carga por metro lineal} \quad \frac{12974}{8.101} = 1602 \text{ kg/m}$$

Eligiendo un perfil IPR 16" x 7" x 53.6 Kg/m con las siguientes características:

$$I_x = 18576 \text{ Cm}^4$$

$$S_x = 923 \text{ Cm}^3$$

$$r_x = 16.48 \text{ Cm}$$

$$\text{esfuerzo permisible } \sigma = 22000 \text{ psi} = 1548 \text{ Kg/Cm}^2$$

$$M_{\text{max}} = \frac{w l^2}{8} = \frac{(13581 + 53.6)(8.101)^2}{8} = 13581 \text{ Kg.m}$$

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{M}{S_x} = \frac{(13581)(100)}{923.0} = 1471.0 \text{ menor que } 1548$$

$$\text{Flecha} \quad \Delta_{\text{max}} = \frac{5}{384} \frac{w l^4}{E I} = \frac{5(16.556)(810.1)^4}{384(2.1 \times 10^6)(18576)} = 2.38 \text{ Cm}$$

$$\Delta_{\text{perm}} = \frac{L}{250} = \frac{810.1}{250} = 3.24 \text{ Cm} > 2.38 \text{ Cm.}$$

$$\text{Reacción} \quad \frac{W L}{2} = \frac{1655.6(8.101)}{2} = 6706 \text{ Kg}$$

TERCERA FILA DE VIGAS

$$\text{Carga por correas exteriores} = 10(1027) = 10270 \text{ Kg}$$

$$\text{Carga por correas interiores} = \underline{5(826) = 4130 \text{ Kg}}$$

$$\Sigma = 14400 \text{ Kg}$$

$$\text{Carga por metro lineal} \quad \frac{14400}{8.101} = 1778 \text{ kg/m}$$

Eligiendo un perfil IPR 16" x 7" x 59.6 Kg/m con las siguientes características:

$$I_x = 21457 \text{ Cm}^4$$

$$S_x = 1055 \text{ Cm}^3$$

$$r_x = 16.81 \text{ Cm}$$

$$\text{esfuerzo permisible } \sigma = 22000 \text{ psi} = 1548 \text{ Kg/Cm}^2$$

$$M_{\max} = \frac{w l^2}{8} = \frac{(1778 + 59.6)(8.101)^2}{8} = 15074 \text{ Kg.m}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{S_x} = \frac{(15074)(100)}{1055} = 1429.0 \text{ menor que } 1548$$

$$\text{Flecha} \quad \Delta_{\max} = \frac{5}{384} \frac{w l^4}{E I} = \frac{5(18.376)(810.1)^4}{384(2.1 \times 10^6)(21457)} = 2.29 \text{ Cm}$$

$$\Delta_{\text{perm}} = \frac{L}{250} = \frac{810.1}{250} = 3.24 \text{ Cm} > 2.29 \text{ Cm.}$$

$$\text{Reacción} \quad \frac{W L}{2} = \frac{1837.6(8.101)}{2} = 7443 \text{ Kg}$$

#### 4.5.2 DISEÑO DE LAS COLUMNAS SOPORTANTES.

Columna exterior

$P=2x(6102)=12204$  Kg que es el peso que transmiten las vigas.  
 $L=1438.8$  Cm

Se recomienda el uso de perfiles canal para formar las columnas procurando obtener el mayor momento de inercia por ello se utilizan dos perfiles canal colocados como se muestra en la figura 4.6

Miembro 1 CPS 12" x 30.8 Kg/m con las siguientes características

$$A=38.9 \text{ Cm}^2 \quad I_x=5332 \text{ Cm}^4 \quad I_y=162.7 \text{ Cm}^4 \quad X=1.78 \text{ Cm}$$

Miembro 2 CPS 10" x 22.77 Kg/m con las siguientes características

$$A=28.77 \text{ Cm}^2 \quad I_x=2784 \text{ Cm}^4 \quad I_y=95.7 \text{ Cm}^4 \quad X=1.6 \text{ Cm}$$

Las propiedades de la sección compuesta son:

$$A=38.9 + 28.77=67.67 \text{ Cm}^2$$

$$\bar{X}=\frac{1}{67.67} (28.77 \times 14.48)=6.16 \text{ Cm}$$

$$I_x'=5332 + 95.7=5427.7 \text{ Cm}^4$$

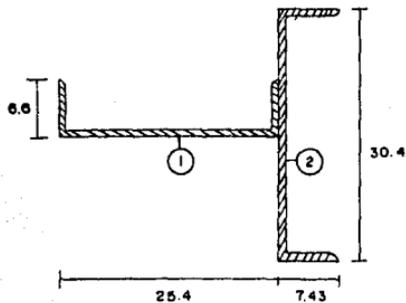
$$I_y'=162.7 + 38.9(6.16)^2 + 2784 + 28.77(8.32)^2 =6414.3 \text{ Cm}^4$$

$$r_x' = \sqrt{\frac{5427.7}{67.67}} = 8.96 \text{ Cm}$$

$$r_y' = \sqrt{\frac{6414.3}{67.67}} = 9.74 \text{ Cm}$$

$$\left( \frac{L}{r} \right)_x = \frac{1438.8}{8.96} = 161 < 180 \text{ (es la menor relación de esbeltas especificada para las columnas en el API-650)}$$

DETALLE COLUMNAS



① Perfil CPS 10" x 22.77 Kg/m

② Perfil CPS 12" x 30.8 Kg/m

FIG. 4.6

$$\text{esfuerzo admisible: } \sigma = \frac{10480000}{\left(\frac{L}{r}\right)^2 \left[1.6 - \frac{L}{200r}\right]}$$

$$= \frac{10480000}{(161)^2 \left[1.6 - \frac{161}{200}\right]} = 508 \text{ Kg/Cm}^2$$

Peso propio de la columna:  $14.388(30.8 + 22.77) = 771 \text{ Kg}$

Peso total =  $771 + 12204 = 12975 \text{ Kg}$

Esfuerzo maximo  $\sigma_{\max} = \frac{P}{\Sigma A} = \frac{12975}{67.67} = 192 \text{ Kg/cm}^2 < 508 \text{ Kg/cm}^2$

Columna intermedia

$P = 2 \times (7443) = 14886 \text{ Kg}$

$L = 1470.1 \text{ Cm}$

Considerando la misma sección que en las columnas exteriores tenemos que:

Peso propio =  $14.701(30.8 + 22.77) = 788 \text{ Kg}$

$\left(\frac{L}{r}\right)_x = \frac{1470.1}{8.96} = 164 < 180$  (es la menor relación de esbeltés especificada para las columnas en el API-650)

$$\text{esfuerzo admisible: } \sigma = \frac{10480000}{\left(\frac{L}{r}\right)^2 \left[1.6 - \frac{L}{200r}\right]}$$

$$= \frac{10480000}{(164)^2 \left[1.6 - \frac{164}{200}\right]} = 499 \text{ Kg/Cm}^2$$

Esfuerzo maximo  $\sigma_{\max} = \frac{P}{\Sigma A} = \frac{788 + 14886}{67.67} = 232 \text{ Kg/cm}^2 < 499 \text{ Kg/cm}^2$

Columna central

$$P=30(\text{correas}) \times (448)=13440 \text{ Kg}$$

$$L=1579 \text{ Cm}$$

Considerando la misma sección que en las columnas exteriores tenemos que:

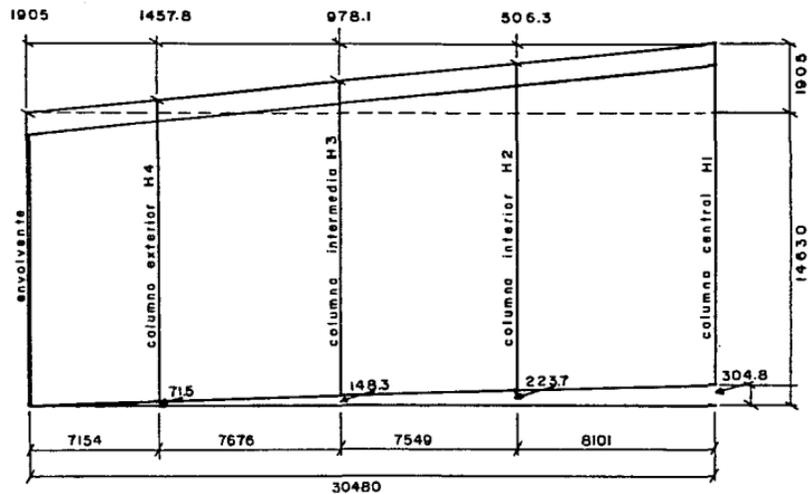
$$\text{Peso propio} = 15.790(30.8 + 22.77) = 846 \text{ Kg}$$

$$\left[ \frac{L}{r} \right]_x = \frac{1579.0}{8.96} = 176 < 180 \text{ (es la menor relación de esbeltés especificada para las columnas en el API-650)}$$

$$\begin{aligned} \text{esfuerzo admisible: } \sigma &= \frac{10480000}{\left[ \frac{L}{r} \right]^2 \left[ 1.6 - \frac{L}{200r} \right]} \\ &= \frac{10480000}{\left[ 176 \right]^2 \left[ 1.6 - \frac{176}{200} \right]} = 470 \text{ Kg/Cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Esfuerzo maximo } \sigma_{\text{MAX}} = \frac{P}{\Sigma A} = \frac{846 + 13440}{67.67} = 211 \text{ Kg/cm}^2 < 470 \text{ Kg/cm}^2$$

DETALLE DE LAS COLUMNAS



#### 4.6.0 DISEÑO SISMICO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO.

El procedimiento de diseño considera dos modos de respuesta del tanque y su contenido

1) La respuesta amplificada de alta frecuencia del movimiento lateral del suelo, de la armazón del tanque y del techo juntos con una porción del líquido contenido el cual se mueve simultáneamente con la armazón.

2) La respuesta amplificada de baja frecuencia de una porción del líquido en el modo fundamental del golpeo.

El diseño requiere la determinación de la masa hidrodinámica asociada con cada modo, la fuerza lateral y el momento de volteo aplicado a la estructura, resultante de la respuesta de las masas sujetas al movimiento lateral del suelo.

diseño cargado (a tanque lleno)

#### 4.6.1 MOMENTO DE VOLTEO.

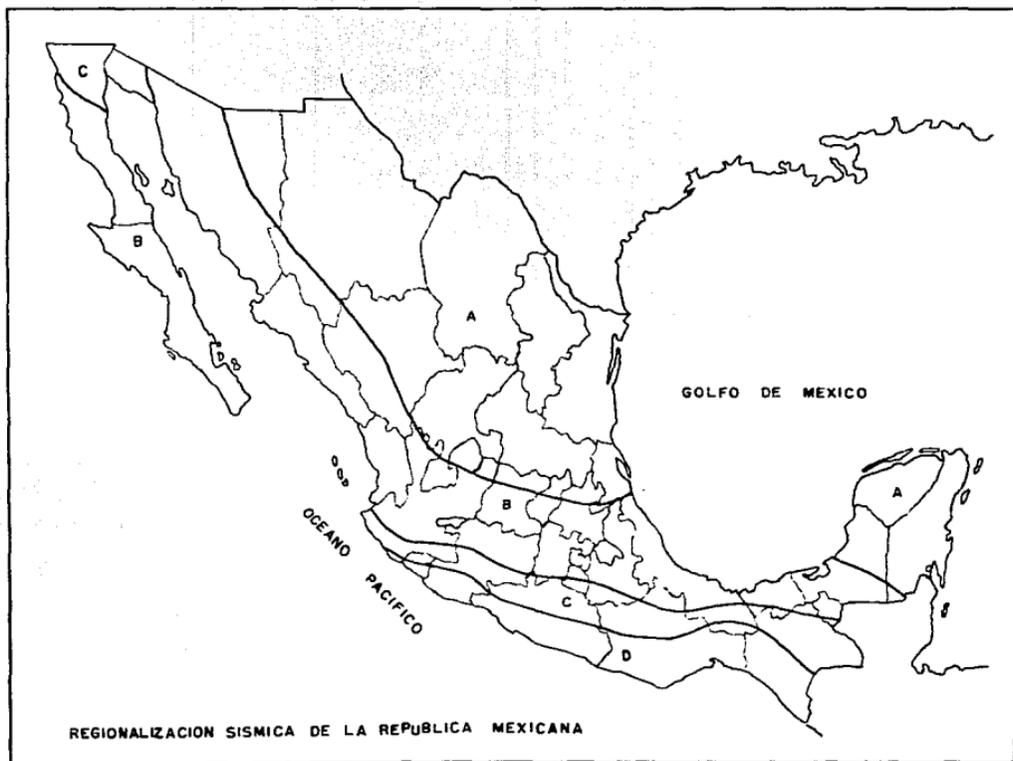
El momento de volteo debido a las fuerzas sísmicas aplicadas en la base del tanque deben ser determinadas por la ecuación:

$$M = ZI(C_1 W_1 X_1 + C_2 W_2 H + Q_1 W_3 X_1 + C_2 W_4 X_1)$$

Donde:

M= Momento de volteo aplicado en la base del tanque en pies-libras.

Z= Coeficiente sísmico de zona obtenido de mapa de zonificación sísmica y de la siguiente tabla.



coeficiente sísmico de Zona	zona sísmica
0.1875	A
0.3750	B
0.7500	C
1.0000	D

**I= Factor de facilidades esenciales**

Un valor igual a la unidad debe usarse para todos los tanques excepto cuando un incremento de dicho factor sea especificado por el fabricante del tanque.

Se recomienda que el factor I no exceda el valor de 1.5 y este máximo valor será aplicado solo en tanques que deben prestar servicio de emergencia al público después del sismo.

**C<sub>1</sub> y C<sub>2</sub>** Son coeficientes de las fuerzas sísmicas laterales

C<sub>1</sub> se debe tomar como 0.24

C<sub>2</sub> debe determinarse en función del período natural del primer modo de golpeo T y las condiciones del suelo en el lugar del tanque.

cuando T es menor o igual que 4.5 C<sub>2</sub> es igual a

$$C_2 = \frac{0.30 S}{T}$$

cuando T es mayor que 4.5

$$C_2 = \frac{1.35 S}{(T)^2}$$

Donde:

S=Factor de amplificación que se da en función del tipo de suelo.

PERFIL DE SUELO TIPO	FACTOR DE AMPLIFICACION	NOTAS
A	1.0	1
B	1.2	2
C	1.5	3
desconocido	1.5	4

NOTAS:

1 El perfil tipo A es un perfil con:

- a) Roca de cualquier característica, cualquier tipo de esquisto o cristal en estado natural. Tal material se caracteriza por una velocidad de onda cortante mayor que 2500 pies por segundo
- b) Condiciones de suelo duro donde la profundidad es menor de 200 pies y los tipos de suelo son depósitos estables de arena, grava o arcilla dura.

2 El perfil tipo B es un perfil con profunda cohesión o condiciones de arcilla dura incluyendo sitios donde la profundidad del suelo excede los 200 pies y los tipos de suelo son depósitos estables de arena, grava o arcilla dura.

3 Perfil tipo C es un perfil de blanda a mediana dureza de arcilla y arena, caracterizado por una capa de 30 pies o más de arcilla con o sin capas de arena u otro suelo cohesionante.

4 En lugares donde el perfil del suelo no se conoce con suficiente detalle para determinar el tipo de perfil del suelo se debe suponer un perfil tipo C.

T=es el periodo natural del primer modo de golpeo en segundos. T debe ser determinado de la siguiente expresión

$$T=KD^{1/2}$$

K=es un factor obtenido de la figura 4.9 entrando con la relación D/H

$W_0$ =Peso total del tanque o envolvente en libras.

$X_2$ =Altura medida de la base del tanque al centro de gravedad de la envolvente.(en pies)

$W_r$ =Peso total del techo (fijo o flotante) mas la carga debida a la nieve y viento en libras.

$H_t$ =Altura total de la envolvente del tanque en pies.

$W_1$ =Peso de la masa efectiva del contenido del tanque la cual se mueve junto con la envolvente del tanque(masa efectiva).

$X_1$ =Altura medida de la base de la envolvente del tanque al centroide de la fuerza lateral sísmica  $W_1$  en pies.

$W_2$ =Peso de la masa efectiva del primer modo de golpeo del contenido del tanque.(en libras).

$X_2$ =Altura medida desde la base de la envolvente al centroide de la fuerza sísmica  $W_2$  (en pies).

#### 4.6.2 MASA EFECTIVA DEL CONTENIDO DEL TANQUE.

Las masas efectivas  $W_1$  y  $W_2$  se obtienen multiplicando el peso total  $W_t$  por las relaciones  $W_1/W_t$  y  $W_2/W_t$  respectivamente, obtenidas de la figura 4.8 entrando con la relación  $D/H$  donde:  
 $W_t$ =Peso total del contenido del tanque (en libras).

$D$ =Diámetro nominal del tanque (en pies).

$H$ =Altura del tanque (en pies).

Las alturas ( $X_1$ ,  $X_2$ ) medidas desde la base del tanque a los centroides de las fuerzas laterales sísmicas  $W_1$  y  $W_2$  serán determinadas multiplicando la altura  $H$  por las relaciones  $X_1/H$  y  $X_2/H$  respectivamente obtenidas de la figura 4.8 entrando con la relación  $D/H$ .

#### 4.6.3 RESISTENCIA AL VOLTEO.

La resistencia al momento de volteo en la base de la envolvente del tanque se obtiene en base al peso de la envolvente del tanque y por la porción del contenido del tanque adyacente a la envolvente para cualquier tipo de tanque (anclados o no anclados). Para tanques no anclados la porción del contenido que será utilizada para calcular la resistencia al volteo será dependiendo del ancho o espesor del anillo del fondo al cual comprende parte de la cimentación. Dicha longitud se determina por:

$$W_L = 7.9T_b \sqrt{F_{by} G H}$$

Excepto cuando  $W_L$  sea mayor que 1.25GHD

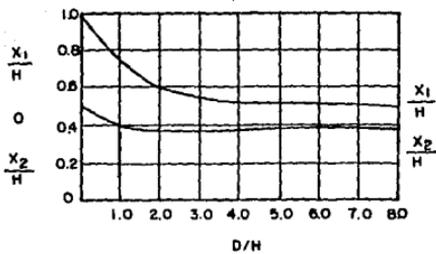
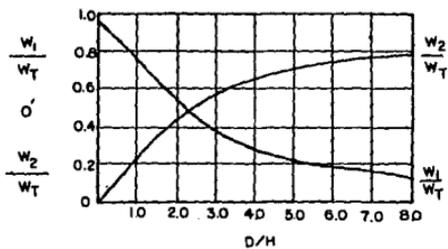


FIG. 4.8

Donde:

$W_L$  = Máximo peso del contenido del tanque que puede ser utilizado para resistir el momento de volteo de la envolvente.

(en libras por pie de circunferencia de la envolvente).

$T_b$  = Espesor del anillo del fondo (en pulgadas).

$F_{by}$  = Esfuerzo mínimo de fluencia del anillo de fondo (en libras por pulgada cuadrada).

$G$  = Gravedad específica del líquido almacenado.

COMPRESION DE LA ENVOLVENTE

#### 4.6.4 TANQUES NO ANCLADOS.

La fuerza de compresión longitudinal máxima en la base de la envolvente debe ser determinado por medio de el valor de  $b$ :

Cuando  $\frac{M}{D^2(W_L + W_L)}$  es igual o menor que 0.785

entonces  $b = W_L + \frac{1.273M}{D^2}$

Cuando  $\frac{M}{D^2(W_L + W_L)}$  es mayor que 0.785 pero menor o igual a 1.5

$b$  debe ser calculada a partir del valor del parámetro obtenido de la figura 4.9

$$\frac{b + W_L}{W_L + W_L}$$

Donde:  $b$  = Fuerza longitudinal de compresión máxima en libras/pié de circunferencia de la envolvente.

$W_L$  = Peso de la envolvente del tanque y porción del techo o tapa fija soportada por la envolvente en lb/pié.

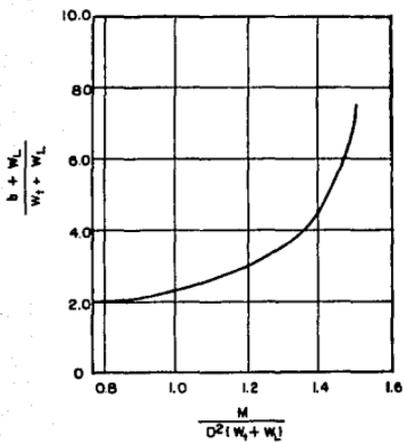
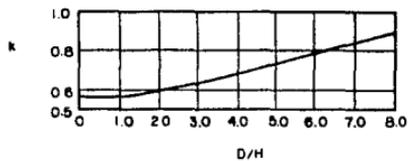


FIG. 4.9

WL=Máximo peso del contenido del tanque que puede ser utilizado para resistir el momento de volteo de la envoltente.

Cuando  $\frac{M}{D^2(WL + WL)}$  es mayor que 1.50 pero menor o igual a 1.57

$$\frac{b + WL}{WL + WL} \frac{1.490}{1 - \left[ \frac{0.62 M}{D^2(WL + WL)} \right]^{1/2}}$$

Cuando  $\frac{M}{D^2(WL + WL)}$  es mayor que 1.57 ó  $\frac{b}{12t}$  excede el valor

del máximo esfuerzo permisible Fa, el tanque es inestable.

En tal caso se realiza cualquiera de las opciones siguientes:

- 1.-Aumentar el espesor del anillo de fondo tb o incrementar WL.
- 2.-Incrementar el espesor de la envoltente.
- 3.-Cambiar las dimensiones del tanque aumentando el diámetro y reduciendo la altura.
- 4.-Anclar el tanque.

#### 4.6.5 TANQUES ANCLADOS.

La fuerza longitudinal máxima de compresión en la base de la envoltente será determinada por:

$$b = \frac{WL + 1.273 M}{D^2}$$

NOTA: Respecto a los esfuerzos permisibles de compresión.

El máximo esfuerzo de compresión en la envoltente  $\frac{b}{12t}$  no debe exceder el esfuerzo permisible  $F_a$  determinado por las siguientes formulas (las cuales toman en cuenta el efecto de la presión interna debida al líquido contenido):

$$\text{Cuando } \frac{GHD^2}{t^2D} \text{ es } \geq 10^6 \text{ entonces } F_a = \frac{10^6 t}{12}$$

$$\frac{GHD^2}{t^2} \text{ es } < 10^6 \text{ entonces } F_a = \frac{10^6 t}{2.5 D} + 600 \sqrt{GH}$$

En ningún caso se aceptará que el valor de  $F_a$  exceda el valor de 0.5  $F_t$

#### 4.6.6 CALCULO DEL MOMENTO DE VOLTEO.

$$M = ZI(C_1 W_s X_s + C_1 W_r H_r + Q W_t X_t + C_2 W_l X_l)$$

Donde:

$M$  = Momento de volteo aplicado en la base del tanque en pies-libras.

$Z$  = Coeficiente sísmico de zona  $C=0.75$

$I$  = Factor = 1

$C_1$  y  $C_2$  = Factor de fuerza lateral sísmica

$W_s$  = Peso total de la envoltente = 852,478 lbs = 387,490 Kg.

$X_s$  = Altura del fondo del tanque al C.G. de la envoltente 24 pies.

$W_r$  = Peso total del techo = 327,567 lbs = 148,894 Kg.

$H_r$  = Altura total de la envoltente = 48 pies.

$W_l$  = Peso de la masa efectiva del líquido contenido que se mueve al mismo tiempo con la envoltente del tanque.

$X_l$  = Altura desde el fondo del tanque al centroide de la fuerza lateral provocada por  $W_l$ .

$W_2$  = Peso de la masa efectiva del primer modo de golpeo del contenido.

$X_2$  = Altura desde el fondo del tanque al centroide de  $W_2$ .

$W_T$  = Peso del producto =  $42,783 \text{ m}^3 \times 900 = 38504700 \text{ Kg} = 84710340 \text{ lbs}$ .

$D$  = Diámetro nominal del tanque = 200 pies.

$H$  = Altura del tanque = 48 pies.

Cálculo:

$$a) \quad D/H = \frac{200}{48} = 4.17$$

$$W_1/W_T = \frac{W_1}{84710340} = 0.27$$

entonces  $W_1 = 0.27 \times 84710340 = 22871792 \text{ lbs}$

$$D/H = \frac{200}{48} = 4.17$$

$$W_2/W_T = \frac{W_2}{84710340} = 0.67$$

entonces  $W_2 = 0.67 \times 84710340 = 56755928 \text{ lbs}$

$$D/H = \frac{200}{48} = 4.17$$

$$X_1/H = \frac{X_1}{48} = 0.375$$

entonces  $X_1 = 0.375 \times 48 = 18 \text{ pies}$

$$D/H = \frac{200}{48} = 4.17$$

$$X_2/H = \frac{X_2}{48} = 0.520$$

entonces  $X_2 = 0.520 \times 48 = 24.96 \text{ pies}$

$C_1 = 0.24$

cálculo de  $C_z$

$S=1.5$

como  $T=KD^{1/2}$

$D/H=4.17$  de la figura 4.9  $K=0.68$

$T=0.68(200)^{1/2}=9.6$  seg. mayor que 4.5 seg.

$$C_z = \frac{1.35 S}{(T)^2} = \frac{1.35 \cdot 1.5}{(9.6)^2} = 0.022$$

sustituyendo estos datos en la ecuación del momento tenemos

$$M = (0.75)(1) \left[ (0.24)(852478)(24) + (0.24)(327567)(48) + (0.24)(22871792)(18) + (0.022)(56755928)(24.96) \right]$$

$$M = (0.75)(138655802) = 103991851 \text{ lbs-pie}$$

RESISTENCIA AL VOLTEO

$$W_L = 7.9 T_b \sqrt{F_{by} G H} \leq 1.25 \text{ GHD}$$

Donde:

$W_L$  = Máximo peso del contenido del tanque que puede ser utilizado para resistir el momento de volteo de la envoltente.

(en libras por pie de circunferencia de la envoltente).

$T_b$  = Espesor del anillo del fondo (en pulgadas).  $= 5/16" = 0.3125"$

$F_{by}$  = Esfuerzo mínimo de fluencia del anillo de fondo (en libras por pulgada cuadrada).  $= 30000 \text{ psi}$

$G$  = Gravedad específica del líquido almacenado.  $= 0.9$

$$W_L = 7.9(0.3125) \sqrt{(30000)(0.9)(48)} = 2810 \text{ lbs/pie} < 1.25 \text{ GHD}$$

$$10800 \text{ lbs/pie}$$

COMPRESION EN LA ENVOLVENTE PARA TANQUES NO ANCLADOS

$$\text{Cálculo de } \frac{M}{D^2(W_L + W_L)}$$

Donde:  $M=103991851 \text{ lbs-pie}$

$D=200 \text{ pies}$

$W_1$  = Peso del tanque + Peso del techo por cada pie de envolvente circunferencial.

$$\text{Peso del tanque circunferencial} = \frac{W_a}{\pi D} = \frac{852478}{(\pi)(200)} = 1357 \text{ lbs/pie}$$

$$\text{Peso del techo por pie de envolvente} = \frac{W}{\pi D} = \frac{87595}{(\pi)(200)} = 139 \text{ lbs/pie}$$

Carga por metro lineal de placa =  $50 \times 1.34 = 67 \text{ kg/m}$

Carga por metro lineal de polin =  $17.11 \text{ Kg/m}$

$$\text{Reacción} = \frac{W_L (67 + 17.11)(7.508)}{2} = 316 \text{ KG.}$$

Peso total =  $316 \times \text{No de polines} = 316 \times 126 = 39816 \text{ Kg} = 87595 \text{ lbs}$

$W_1 = 1357 + 139 = 1496 \text{ lbs/pie}$

$$\text{calculando } \frac{M}{D^2 (W_1 + W_2)} = \frac{103991851}{(200)^2 (1496 + 2810)} = 0.6 < 0.875$$

$$\text{por lo que se usará } b = W_1 \frac{1.273M}{D^2 (200)^2} = 1496 + \frac{(1.273)(103991851)}{D^2 (200)^2}$$

$$b = 4806 \text{ lb/pie}$$

$t$  = Espesor del primer anillo de la envolvente menos la corrosión

$$t = 28 \text{ mm} = 1 \frac{1}{8}'' = 1.125'' - 0.0625'' = 1.0625''$$

$$\frac{b}{12t} = \frac{4806}{(12)(1.0625)} = 377 \text{ psi} = \text{esfuerzo de compresión actuante que debe ser menor que el admisible.}$$

COMPRESION MAXIMA PERMISIBLE EN LA ENVOLVENTE

$$\text{cálculo de } \frac{GHD^2}{t^2} = \frac{(0.9)(48)(200)^2}{(1.0625)^2} = 1.53 \times 10^6 > 10^6$$

$$\text{por lo que } F_a = \frac{10^6 t}{D} = \frac{(10^6)(1.0625)}{(200)} = 5313 \text{ psi}$$

$$F_a = 5313 \text{ psi} > \frac{b}{12t} = 377 \text{ psi} \text{ y } < 0.5 F_{ly} = 15000 \text{ psi}$$

Por lo que podemos concluir que el tanque es estable y no es necesario colocar anillo de refuerzo o anclarlo.

## CAPITULO 5

### CIMENTACION.

#### 5.1.0 CONDICIONES DEL SUBSUELO.

Para conocer en forma detallada las condiciones del subsuelo y con ello proporcionar las recomendaciones generales para la cimentación de la estructura se ejecutaron 5 sondeos de penetración estandar.

Este procedimiento de exploración consiste en hincar un tubo muestreador a percusión, empleando una masa de golpeo de 64 Kg con caída libre de 75 <sup>+</sup> cm., contando el número de golpes para 3 segmentos de 15 cm.

Se define la resistencia a la penetración como el número N de golpes para penetrar los últimos 30 cm.

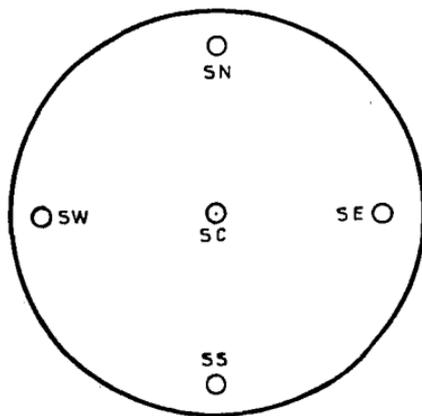
#### 5.1.1 TRABAJOS DE CAMPO Y LABORATORIO.

Consistieron en la ejecución de 5 sondeos de penetración estándar, distribuidos como se indica en la figura 5.1. Su profundidad varió entre 5 y 6 m.

En las figuras 5.2 a 5.6 se consigna la variación del número de golpes (N), obtenido en la prueba de penetración estandar, contra la profundidad.

Todas las muestras obtenidas de los sondeos realizados se enviaron al departamento de geotecnia para su clasificación y ensaye.

Las muestras recuperadas de los sondeos se clasificaron en húmedo y en seco conforme al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y se les determinó su contenido de agua natural.



○ LOCALIZACION DE SONDEOS DE  
PENETRACION ESTANDAR

SIN ESCALA

FIGURA 5.1

Olote C.T. Manzanillo II Sondeo SC (penetración estándar)

Herramienta de avance Zepata ampliadora

Muestreadores empleados Tubo partido

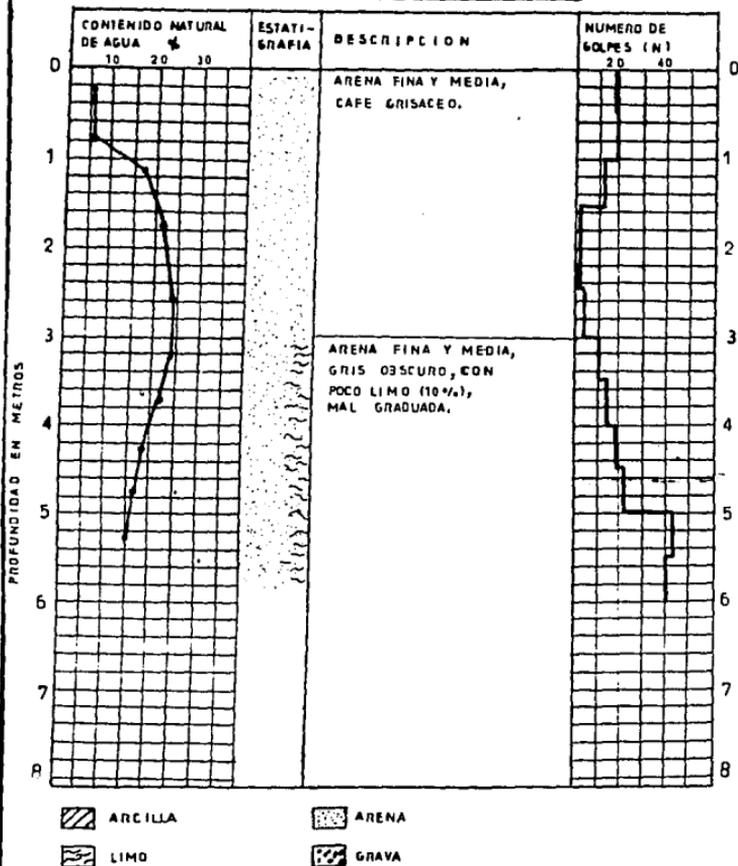


FIGURA 5.2

Obra Ci. Manzanillo II Sondeo SN (penetración estándar)  
 Herramienta de avance Zapata ampliadora  
 Muestreadores empleados Tubo partido

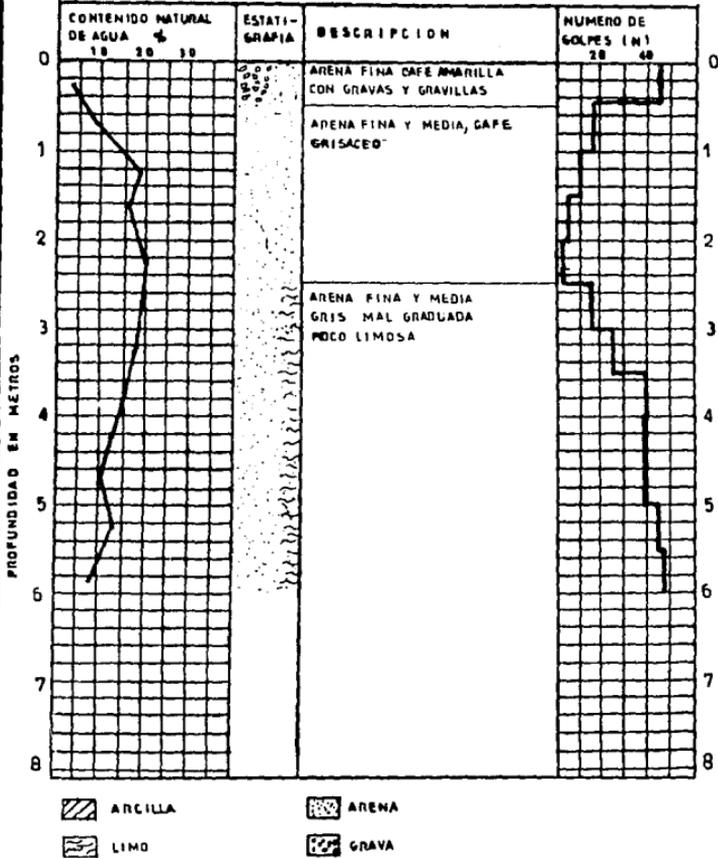


FIGURA 5.3

Obra C.I. Manzanillo II Sondeo SS (penetración estándar)  
 Herramienta de avance Zapata ampliatora  
 Muestreadores empleados Tubo partido.

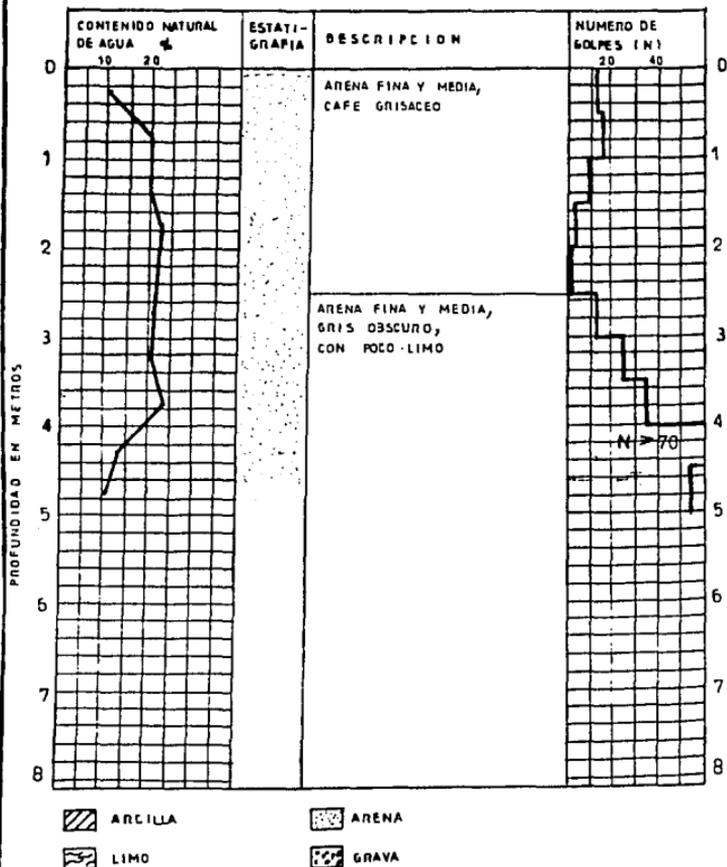


FIGURA 5.4

Obra C.T. Manzanillo II Sondeo SE (penetración estándar)  
 Herramienta de avance Zapata ampliadora  
 Muestreadores empleados Tubo partido

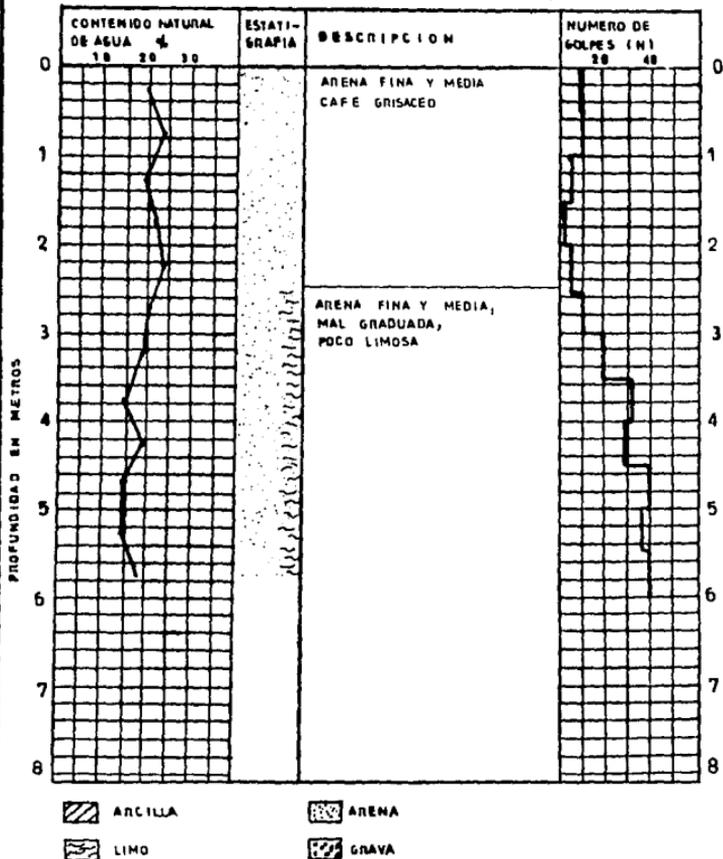


FIGURA 5.5

Obra C.T. Manzanillo II Sondeo SW (penetración estándar)

Herramienta de avance Zapata ampliadora

Muestreadores empleados Tubo partido.

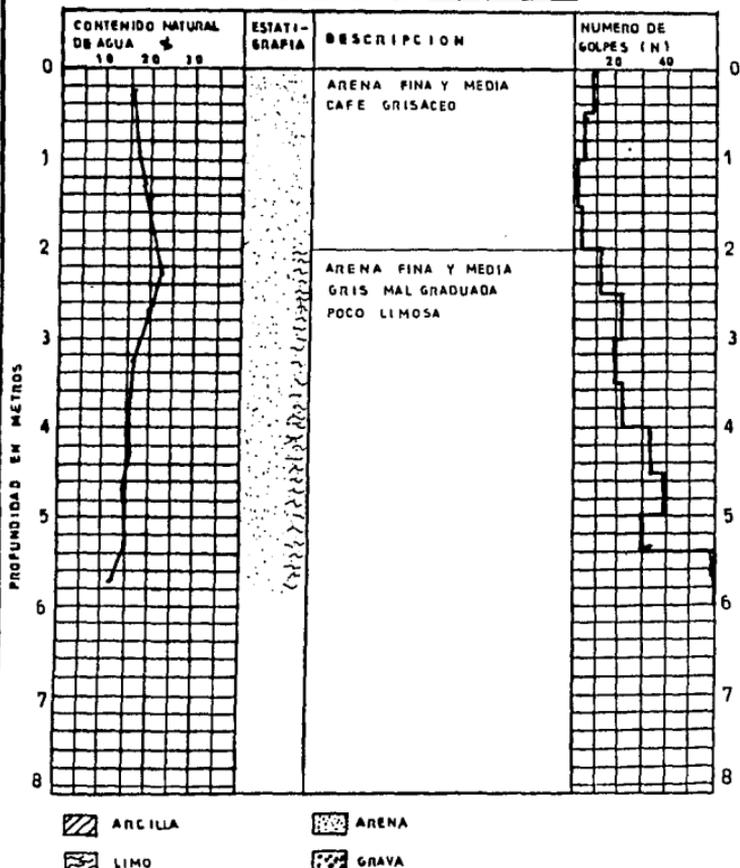


FIGURA 5.6

Los resultados obtenidos de estos ensayos se consignan en las figuras 5.2 a 5.6.

### 5.1.2 DESCRIPCION DEL SUBSUELO.

Como se muestra en las figuras 5.2 a 5.6 los materiales encontrados en el sitio son los siguientes:

- 1) De 0 a 2 m en promedio.- Arena media color café grisácea, de compacidad media a muy suelta ( $0 < N < 20$ ).
- 2) De 2 a 6 m en promedio.- Arena media poco limosa color gris obscuro, de compacidad media a alta ( $20 < N < 60$ ).

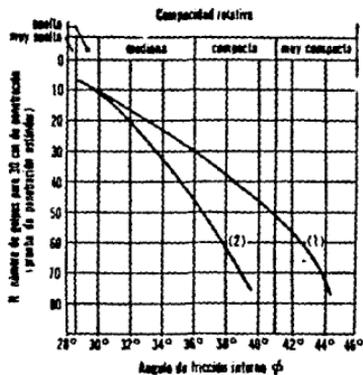
Estos materiales son producto del dragado de la laguna de Coyutlán.

El nivel freático se encontró a 2 m de profundidad, sin embargo, se observó que durante la época de lluvias el sitio se inunda, con un tirante del orden de 20 cm.

### 5.1.3 ESTRATIGRAFIA DE LA ZONA.

Con base en las figuras 5.2 a 5.6 se puede concluir que hay un depósito de materia muy suelta, que en general se encuentra entre los 2 y 3 m de profundidad. Debajo de este depósito la compacidad de estos materiales son de media a alta resistencia al esfuerzo cortante y baja compresibilidad.

Para poder apoyar la cimentación necesitamos encontrar un estrato de mediana a alta compacidad relativa según la figura 5.7 y considerando arena media de grano anguloso necesitamos una  $N > 25$ . En la siguiente tabla se presenta la profundidad a la cual se puede considerar que los materiales son de mediana a alta



- (1) Relación para arenas de grano angular o redondeado de mediana a gruesa  
 (2) Relación para arenas finas y para arenas limosas

FIGURA 5.7

resistencia al esfuerzo cortante y baja compresibilidad.

Sondeo	Profundidad (m)
1	4.50
2	3.00
3	3.00
4	3.50
5	4.00

#### 5.1.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Los materiales que se encuentran arriba de la profundidad indicada en la anterior tabla, son inadecuados para recibir la carga que les transmitirán los tanques, por su baja resistencia al corte y su alta compresibilidad.

Esto implica que las soluciones de cimentación más económica para los tanques pueden ser:

- a) Retirar los suelos superficiales hasta una profundidad de 3 a 4.5 m y substituirlos por un relleno bien compacto.
- b) Precargar el sitio donde se construirán los tanques.
- c) Utilizar un método de vibrocompactación.

#### 5.2.0 ESTUDIO ECONOMICO-CONSTRUCTIVO DEL MEJORAMIENTO DEL SUELO.

Algunos de los factores al definir el sistemas de cimentación son los problemas de excavación, bombeo, o compactación que pueden presentarse, especialmente en lo que respecta al efecto que estas operaciones tienen en las construcciones existentes. Influyen

además, de manera preponderante la disponibilidad del equipo y la experiencia local de los diferentes tipos de cimentación, así como de los métodos para el mejoramiento del suelo.

A continuación se presenta un estudio económico-constructivo de las soluciones propuestas anteriormente para lograr el mejoramiento del suelo y poder tener así un buen terreno de desplante.

### 5.2.1 SUBSTITUCION DE LOS SUELOS SUPERFICIALES HASTA UNA PROFUNDIDAD DE 3 a 4.5 m

La alternativa para cimentar los tanques de combustóleo substituyendo el material actual compacto por otro mejor no se considera viable por lo siguiente.

- El nivel de aguas freáticas (NAF) se tiene superficial en época de lluvias esta zona se inunda con tirante de 20 cm.
- Para dragar el material existente (suelos finos compresibles), se requiere dragar con bote de arrastre y construir caminos de acceso 40 cm de terraplen para la draga hacia los diferentes frentes de ataque. Dragado a 3.0-4.5.
- Después rellenar con material adecuado a fondo perdido. Es muy probable que no se pueda utilizar todo el material dragado, pues tendría que seleccionarse.
- Después compactar con rodillo vibratorio el cual tiene una influencia confiable hasta una profundidad de 2.5 a 3.0 m, con esto quedaría una capa de 1.5 m aproximadamente sin control de compactación con la incertidumbre de los posibles asentamientos al construir los tanques.

### 5.2.2 PRECARGA DEL TERRENO.

Considerando como cálculo preliminar una altura de la precarga de 9 m., la cual nos dará el esfuerzo necesario para lograr la compacidad requerida.

El diámetro del terreno mejorado tendrá que ser mayor que el diámetro del tanque, por lo que se considerará un diámetro de 80 m. En el caso de que esta solución llegue a ser la mas adecuada la altura de la precarga se tendrá que calcular de manera exacta; así como el diámetro.

$$\text{Superficie por precargar} = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$S_{\text{pre}} = \frac{\pi * 80^2}{4} = 5\,026 \text{ m}^2$$

$$\text{Volúmen} = \text{altura} * \text{area}$$

$$V = 9 * 5026 = 45\,238 \text{ m}^3$$

Opciones:

- a. -Dragar el canal de llamada y utilizar el producto del dragado en la precarga del terreno.

Equipo a utilizar; Draga de succión marca AMMCO mod PD12C

Traxcavo internacional mod 175C

Rendimiento 120 m<sup>3</sup>\* hora

Número de horas necesarias= 45238/120= 377 hrs.

Costo:

Draga de succión	\$ 249.92 * m <sup>3</sup>
Traxcavo	\$ 38.92 * m <sup>3</sup>
	<hr/>
	\$ 288.84 * m <sup>3</sup>

Importe = 288.84 \* 45238 = 13 066 543.92

b.-Utilizar el producto del dragado almacenado en el area adyacente a la ubicación de los tanques.

Equipo a utilizar:

Draga de arrastre marca BUCTRUS mod 38B  
Traxcavo International mod 175C  
Camiones de volteo de 6 m<sup>3</sup>

Rendimiento: 60 m<sup>3</sup>\* hora

Número de horas necesarias =  $\frac{V}{\text{Rendim}}$

Num. hor = 45238/60 = 754

Costo:

Draga de arrastre	\$ 189.53 * m <sup>3</sup>
Camiones	\$ 25.10 * m <sup>3</sup>
Traxcavo	\$ 77.84 * m <sup>3</sup>
	<hr/>
	\$ 292.47 * m <sup>3</sup>

Importe = 45238 \* 292.47 = 13 230 757.86

Análisis del costo para retirar el material de la precarga del terreno que ocupará el tanque de almacenamiento.

Volúmen 45 238 m<sup>3</sup>

Equipo:

Cargador frontal Caterpillar 950 B.  
rendimiento 60 m<sup>3</sup> \* hora.

Camiones de volteo con capacidad de 6 m<sup>3</sup>  
distancia del tiro 3 Kms.

Tiempo estimado 1 300 H/Maq.

Costo horario:

Cargador \$ 8 745.00

Volteo \$ 1 506.52

Costo por m<sup>3</sup> \$ 208.52

Importe = 208.52\*45238= \$ 9 433 027.76

### 5.2.3 VIBROCOMPACTACION.

Según la información proporcionada para llevar a cabo la vibrocompactación dentro del área de construcción para el tanque de almacenamiento, a una profundidad no mayor de 6.0 m, con respecto al nivel natural del terreno (NNT) en un área de 31 250 m<sup>2</sup>. Se propone realizar la vibrocompactación haciendo el tratamiento de la zona de los depósitos en un diámetro D=30 m.a cada 1.5 m formando una cuadrícula, y el resto del área a cada 3.0 m.

Importe de los trabajos.

De acuerdo a las consideraciones anteriores, el importe y los volúmenes de obra por ejecutar son los siguientes:

Concepto	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Importe
Vibrocompactación a profundidad no ma yor de 6.0 m respec to al NNT	m <sup>3</sup>	187 000	\$ 334.20	\$62 662 500

#### Notas aclaratorias:

En la elaboración de este presupuesto se han considerado que la C.F.E. proporcionará a la constructora sin costo alguno:

- a) Accesos adecuados a el área de trabajo
- b) Licencias y permisos de construcción estatal y federal.
- c) Localización y trazo en cada una de los puntos.
- d) Supervisión y cuantificación oportuna de obra.

#### 5.2.4 CONCLUSIONES.

De el análisis anterior la solución más económica y accesible en su construcción es la de precargar el sitio opción a) Utilizando el producto del dragado del canal de llamada.

#### 5.3.0 CONSOLIDACION ACELERADA DE SUELOS BLANDOS.

##### 5.3.1 ALCANCE.

La consolidación acelerada es un procedimiento constructivo que se aplica a suelos blandos generalmente de espesor reducido, a fin de eliminar la consolidación primaria y reducir la secundaria que sufrirían estructuras cimentadas sobre el mismo suelo sin tratamiento alguno. Los suelos que pueden someterse a este procedimiento son; limos sueltos, limos orgánicos, arcillas blandas normales y ligeramente consolidadas y arenas sueltas.

### 5.3.2 DEFINICIONES.

**Consolidación.**- Un suelo saturado, sometido a incrementos de carga, sufre deformaciones como consecuencia del drenaje de agua intersticial y del acercamiento entre sus partículas. Este procedimiento se define en dos etapas: la consolidación primaria y la consolidación secundaria.

**Consolidación Primaria.**- Es la deformación que sufre un suelo como resultado de la expulsión de agua al disiparse el exceso de presión de poro. La teoría de consolidación de Terzaghi es la interpretación teórica de mayor uso para este fenómeno.

**Consolidación Secundaria.**- La deformación lenta que continúa aún después de que el exceso de presión de poro se ha disipado se denomina consolidación secundaria, el flujo de agua ocurre bajo pequeños gradientes a velocidad muy lenta, provocando que las partículas de suelo se acerquen entre sí. Este fenómeno es difícil de reproducir en el laboratorio dada su complejidad y el tiempo que requiere para desarrollarse.

**Proceso de Consolidación.**- Ambas etapas de consolidación ocurren simultáneamente, sólo que en el inicio del fenómeno, la primaria predomina sobre la secundaria. En la fig. 5.8 se muestran la etapas mencionadas, aceptando que inicialmente es más significativa la consolidación primaria, y que termina al disiparse el exceso de presión de poro,

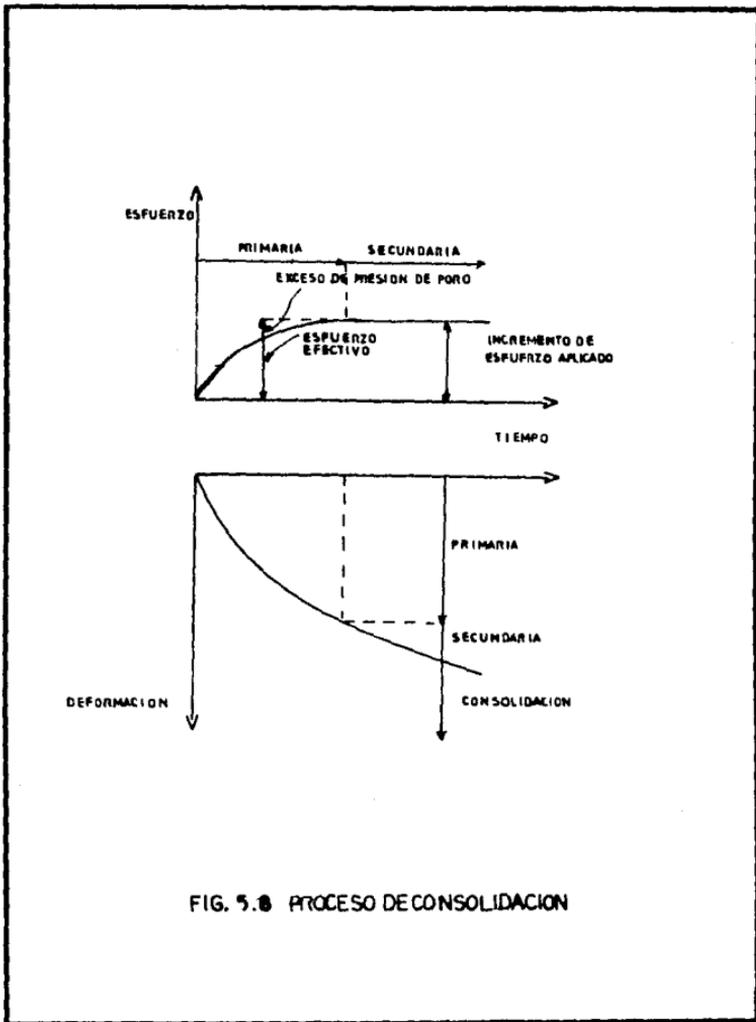


FIG. 5.8 PROCESO DE CONSOLIDACION

continua la secundaria bajo exceso de presión de poro practicamente nulo.

#### 5.4.0 PRECARGA DEL TERRENO.

El mejoramiento masivo de suelos puede lograrse con varios procedimientos, uno de los más usuales es la precarga. Se designa como "precarga" al sistema de aplicar carga a los suelos de cimentación, previas a las cargas normales de operación de las estructuras en proyecto, teniendo como objetivo incrementar la resistencia de los suelos blandos o sueltos y disminuir su compresibilidad cuando las estructuras definitivas se encuentren en operación.

Durante este proceso fundamentalmente se eliminan los asentamientos debidos a la consolidación primaria y en parte a los que corresponden a la secundaria.

Las precargas usuales en la práctica del mejoramiento de suelos son: con tierra en forma de terraplenes o plataformas; usar la estructura y su carga de operación en aplicación controlada; la prueba hidrostática de recipientes y el abatimiento del nivel de aguas freáticas en el sitio de proyecto, para incrementar los esfuerzos efectivos, al reducir la presión de poro.

#### 5.4.1 CARACTERISTICAS DEL MATERIAL DE PRECARGA.

Como ya se mencionó para aplicar la precarga se utilizará el material producto del dragado del canal de llamada.

Se tomaron en cuenta algunas muestras de los matriales y se enviaron al laboratorio de mecánica de suelos para determinar

algunas de sus características, y así, poder determinar la geometría de la precarga.

El terreno esta constituido por arena gris obscura fina y media, mal graduada.

El peso volumétrico húmedo del subsuelo es del orden de  $2 \text{ t/m}^3$ , y su ángulo de fricción interna es de  $37^\circ$ .

Tomando en cuenta una altura preliminar de la precarga (con la cual se realizó el estudio económico-constructivo) de 9 m se llevaron a cabo análisis de estabilidad para diferentes condiciones y diferentes taludes, y tomando en cuenta que no será mucho el tiempo que permanecerá la precarga se concluyó que se les podría asignar taludes 2.3 horizontal por 1 vertical.

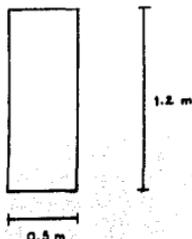
#### 5.4.2 CALCULO DEL ESFUERZO A APLICAR.

Para mejorar las características del suelo donde se cimentará la estructura se deberá de aplicar un esfuerzo mayor en un 20% al que transmitirá el tanque lleno.

Considerando que:

Peso del tanque vacío= 1 010.89 ton.

Medidas tentativas del anillo de cimentación:



Con diámetro

$D=61 \text{ m.}$

$$\text{Volumen cimentación} = 1.2 * 0.50 * 61 * \pi = 114.98 \text{ m}^3$$

$$\gamma_{\text{concreto}} = 2.4 \text{ t/m}^3$$

$$\text{Peso el anillo de cimentación} = 114.98 * 2.4 = 275.96 \text{ ton.}$$

Considerando que el relleno que confinará al anillo de cimentación tendrá un peso volumétrico igual a  $2 \text{ t/m}^3$

$$\text{Volumen del relleno} = \frac{\pi * D^2}{4} h$$

$$\text{Vol}_{\text{rell}} = \frac{\pi * 61^2}{4} * 1.2 = 3506.95 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso del relleno} = \gamma_{\text{rell}} * \text{vol}_{\text{rell}}$$

$$P_{\text{rell}} = 2 * 3506.95 = 7013.92 \text{ ton.}$$

Peso volumétrico del combustóleo ( $\gamma_{\text{com}}$ ) =  $1 \text{ t/m}^3$   
(conservador)

$$\text{Peso del combustóleo a tanque lleno} = \gamma_{\text{com}} \text{Vol}_{\text{com}}$$

$$\text{Vol}_{\text{com}} = \frac{\pi * D^2}{4} h$$

$$\text{Vol}_{\text{com}} = \frac{\pi * 61^2}{4} * 14 = 40914.53 \text{ m}^3$$

$$P_{\text{com}} = 1 * 40914.53 = 40914.53 \text{ ton.}$$

Finalmente el peso total del sistema es:

$P_{\text{tanque vacío}}$	1 010.89	ton
$P_{\text{anillo cim.}}$	275.96	ton
$P_{\text{rell}}$	7 013.92	ton
$P_{\text{com}}$	<u>40 914.53</u>	<u>ton</u>
$P_{\text{total}}$	49 215.30	ton

$$\text{Peso por unidad de area} = \frac{P_{\text{tot}}}{\text{Area}}$$

$$\text{Area} = \frac{\pi * D^2}{4} = \frac{\pi * 61^2}{4} = 2922.46 \text{ m}^2$$

$$P_{\text{unid}} = \frac{49215.3}{2922.46} = 16.84 \text{ ton/m}^2$$

El esfuerzo que debe aplicar la sobrecarga al terreno es:

$$\sigma_{\text{sob}} = P_{\text{unid}} + 0.20 * P_{\text{unid}}$$

$$\sigma_{\text{sob}} = 16.84 + 0.20 * 16.84 = 20.02 \text{ ton/m}^2$$

Por lo que se concluye que la sobrecarga deberá ser tal que le transmita un esfuerzo al terreno igual a:

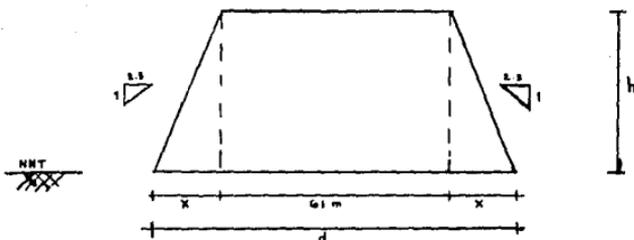
$$\sigma_{\text{sob}} = 20 \text{ ton/m}^2$$

#### 5.4.3 CALCULO DE LAS DIMENSIONES DE LA PRECARGA.

Datos:

Peso volumétrico del material	$\gamma = 2 \text{ t/m}^3$
Talud recomendado	2.3 H 1 V.
Diámetro de precarga	61 m.
Esfuerzo de precarga.	$\sigma = 20 \text{ t/m}^3$

Considerando que la precarga efectiva de  $20 \text{ t/m}^2$  debe actuar en toda la base del tanque calcularemos dicho esfuerzo para el cilindro interior sin considerar los taludes como se muestra en la siguiente figura.



De donde:

$$\text{Volumen de cilindro} = \frac{\pi * D^2}{4} h$$

$$\text{Esfuerzo por unidad de area} = \frac{\gamma * V_{cil}}{A_{cil}} = \gamma * h = 20 \text{ t/m}^2$$

$$\text{como } \gamma = 2 \text{ t/m}^3$$

$$\text{entonces } 20 = \gamma * h \quad h = \frac{20}{\gamma}$$

$$h = 10 \text{ m}$$

Determinación del diámetro (d).

Como la relación de los taludes es lineal

$$2.3 \text{-----} 1$$

$$x \text{-----} 10$$

$$x = \frac{2.3 * 10}{1} = 23 \text{ m.}$$

Entonces:

$$d = 61 + 2 * x$$

$$d = 61 + 2 * 23 = 107 \text{ m.}$$

#### 5.4.4 CONCLUSIONES DE LA PRECARGA.

De los cálculos anteriores se concluye que para transmitir un esfuerzo al terreno de  $20 \text{ t/m}^2$  utilizando material producto del dragado del canal de llamada con  $\gamma = 20 \text{ t/m}^3$ , con taludes 2.3 horizontal por 1 vertical se debe llevar el material de sobrecarga hasta una altura de  $h = 10\text{m}$ . por encima del nivel natural del terreno y la base de desplante tendrá un diámetro de 107 m.

#### 5.4.5 RECOMENDACIONES PARA LA PRECARGA.

Colocación de la precarga.

Para formar el terraplén el material se deberá de colocar en capas de 20 cm. de espesor y se compactará con riegos intensos de agua y con el tránsito de los vehículos de construcción.

Si los taludes de la precarga invaden la zona de tuberías adyacente se puede contener el terraplén con costales rellenos de arena.

La precarga deberá mantenerse el tiempo necesario, hasta que las deformaciones del subsuelo sean prácticamente nulas.

Para llevar un control de la evolución de los hundimientos que ocurrirán, es necesario instalar referencias superficiales en las precargas, y nivelarlas cada semana con respecto a un banco de nivel fijo y alejado de la zona de trabajo.

Los resultados de las nivelaciones deberán reportarse en forma gráfica y tenerlas actualizadas, para determinar cuándo se puede retirar la sobrecarga.

Si es necesario hacerse rellenos en la zona destinada para construir los tanques, deberá hacerse con arena del lugar, libre de suelos finos, y compactarla en capas de 20 cm. de espesor en estado suelto, con un rodillo liso vibratorio.

Deberá llevarse un control adecuado de la compactación mediante pruebas de laboratorio, par garantizar que la densidad relativa del relleno sea del 85% como mínimo.

Teniendo en cuenta la naturaleza de los materiales del sitio, se considerará que en plazo de 2 ó 3 meses se podrá retirar la precarga.

#### Retiro de la precarga.

Cuando se retire la precarga se recomienda utilizar este material para elevar la superficie del terreno hasta la cota 3.5 m con respecto al nivel medio del mar.

Para realizar este relleno se recomienda tender la arena en capas de 20 a 30 cm de espesor en estado suelto, agregándole agua hasta saturarla. La compactación se logrará mediante un rodillo liso vibratorio de 5 ton de peso estático. El número de pasadas, el espesor de cada capa y la cantidad de agua necesarios para compactar el terraplen se determinará en obra.

La compactación mínima que deberá lograrse será de 95% con respecto a la prueba Proctor.

#### 5.4.6 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.

##### Colocación del material.

a) Se utilizará una draga de succión marca AMMCO., la cual extraerá el material depositado en el canal de llamada y lo bombeará a la zona a precargar.

b) Se empleará un tractor buldozer para que en el proceso de dragado este remontando el material para dar forma adecuada.

c) Como alternativa de apoyo se utilizará una draga de arrastre marca BUCYRUS mod. 38B la cual cargará el material al norte del tanque y transportado con camiones de volteo de descargara en la zona a precargar.

##### Retiro del material.

Se utilizará un cargador frontal sobre neumáticos CAT 950b el cual estará cargando el material y se trasportará por medio de camiones volteos a la zona del canal de descarga, en este sitio se extenderá el material con un tractor buldozer D8.

#### 5.5.0 SONDEOS DE PENETRACION ESTANDAR DESPUES DE LA PRECARGA.

Después de haber terminado la colocación de la precarga y habiendo trascurrido seis meses se realizaron 5 sondeos de penetración estandar con la precarga aún sobre el terreno a mejorar, para poder determinar las condiciones del mismo y proceder a el retiro del material de precarga.

A continuación se muestra en las figuras 5.9 a 5.14 la localización y gráficas de dichos sondeos.

Cabe mencionar que estos sondeos se realizaron en las mismas zonas en que se efectuaron los sondeos antes de colocar la precarga, los cuales sirvieron para determinar la compacidad relativa del suelo de cimentación.

En dichos sondeos el cero de la profundidad corresponde al nivel del terreno original

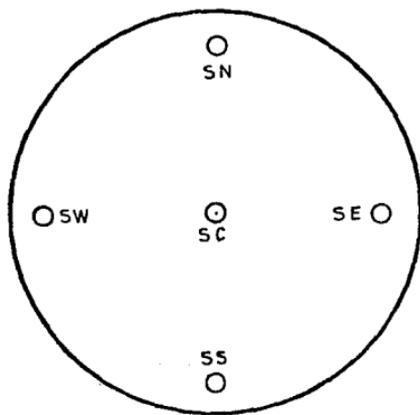
En la siguiente tabla se consignan las profundidades en las cuales el número de golpes  $N > 25$

Sondeo	Profundidad
SC	3.20
SN	3.40
SS	3.60
SE	3.60
SW	4.00

De donde concluimos que aún existe un estrato blando entre 1 m. y 4 m. en la zona que va del norte al oriente del tanque y en la zona del sur al poniente aun en estratos superficiales tenemos una compacidad relativa baja. El método de la precarga si mejoró las condiciones del subsuelo, sin embargo, no se logró la compacidad relativa suficiente en algunos estratos, por lo que solo hubo un mejoramiento parcial con dicho método.

#### 5.6.0 DETERMINACION DE LAS CAUSAS QUE PROVOCARON LA FALLA PARCIAL EN EL METODO.

Con el propósito de definir las causas que provocaron la falla parcial del método para mejorar el suelo se realizaron algunas visitas en campo para analizar el material cercano a la zona de precarga, el cual tiene el mismo origen que el de



○ LOCALIZACION DE SONDEOS DE  
PENETRACION ESTANDAR

SIN ESCALA

FIGURA 5.9

Obra C.T. Manzanillo II Sondeo SC (penetración estándar)

Herramienta de avance Zapata ampliadora

Muestreadores empleados Tubo partido.

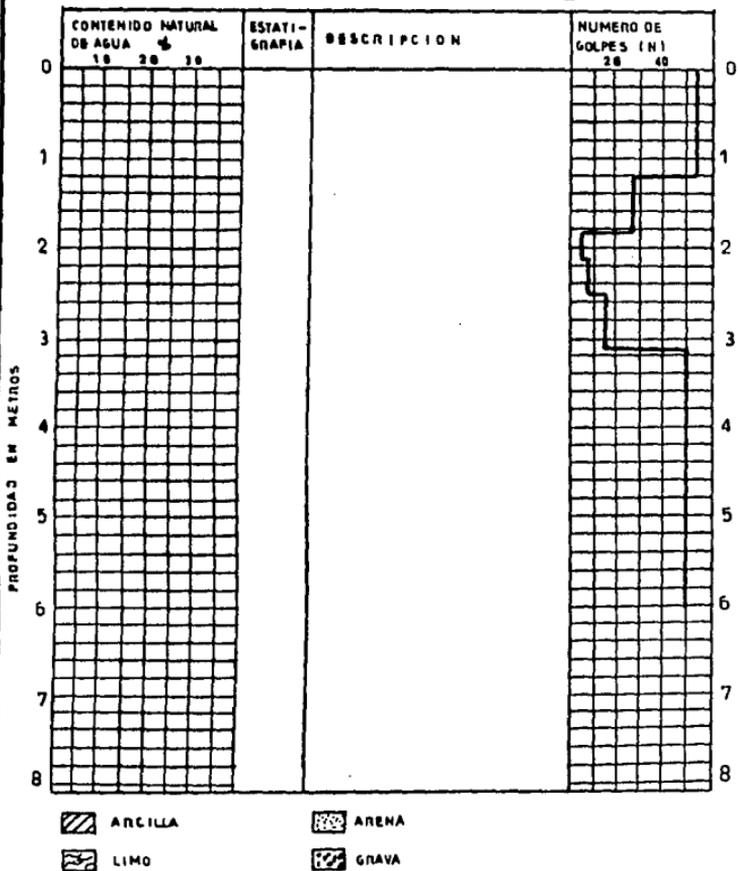


FIGURA 5.10

Obra C.T. Manzanillo II Sondeo SN (penetración estándar)  
 Herramienta de avance Zapata amplificada  
 Muestreadores empleados Tubo partido.

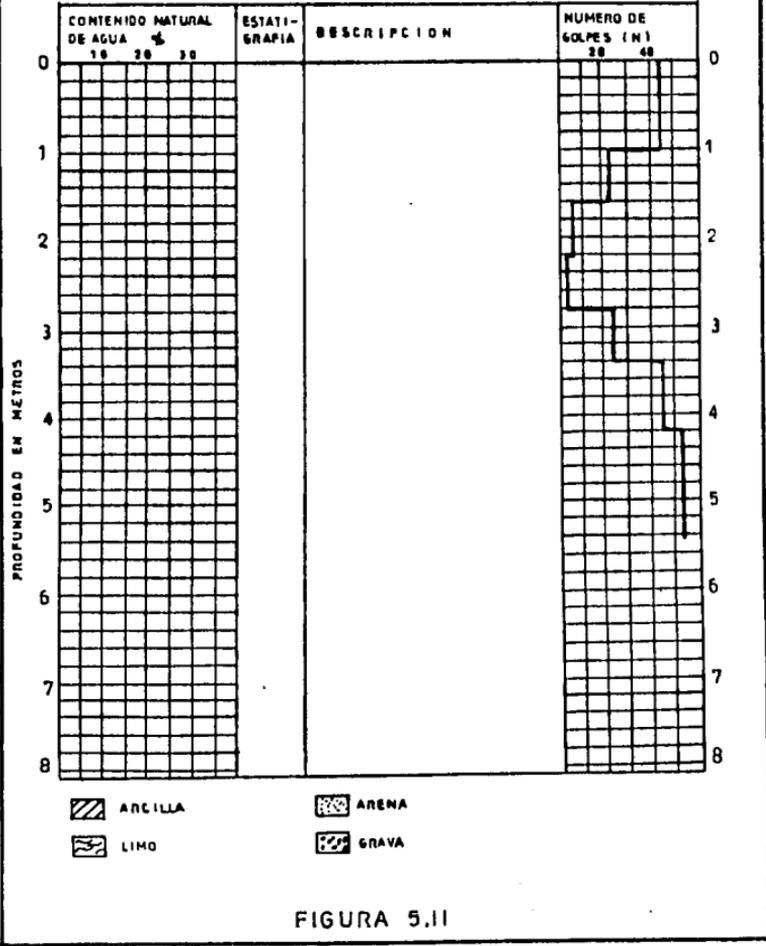
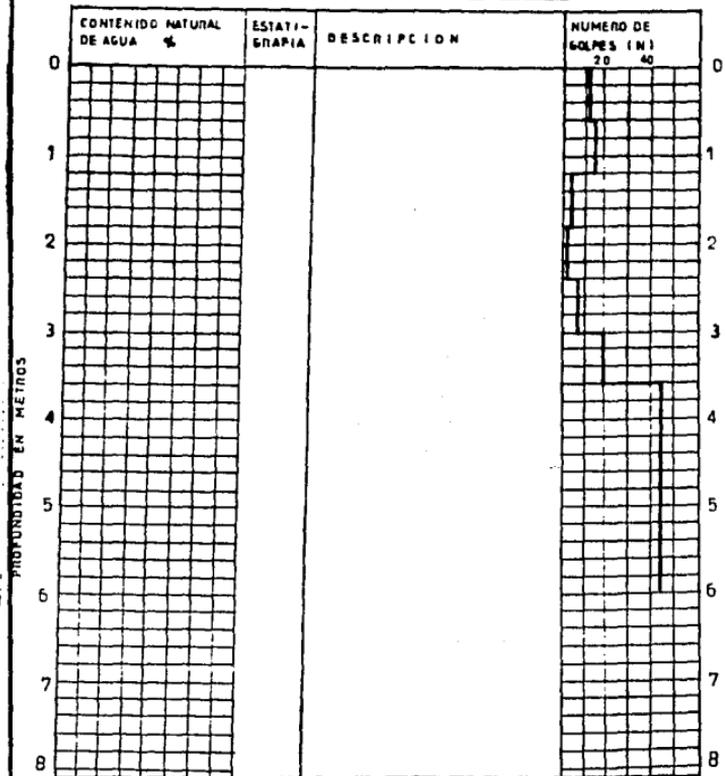


FIGURA 5.11



Obra C.T. Manzanillo II Sondeo SE (penetración estándar)  
 Herramienta de avance Zapata ampliadora  
 Muestreadores empleados Tubo partido



- ARCILLA
- ARENA
- LIMO
- GRAVA

FIGURA 5.13

Obra C.T. Marzanillo II Sondeo SW (penetración estándar)  
 Herramienta de avance Zapata ampliadora  
 Muestreadores empleados Tubo partido

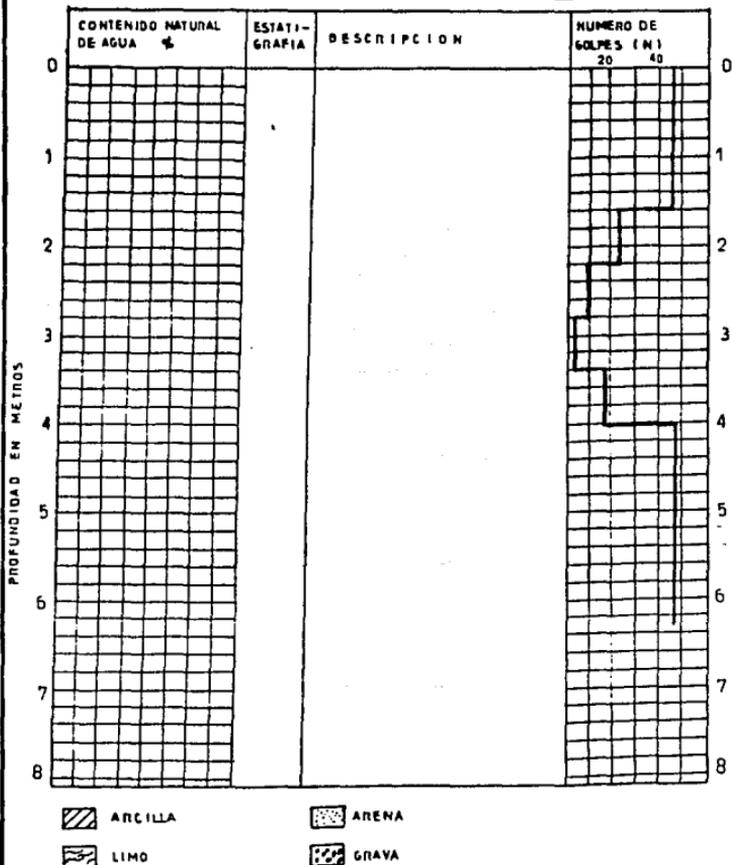


FIGURA 5.14

interés.

#### 5.6.1 CARACTERISTICAS DEL SUBSUELO.

Con las visitas realizadas se pudo llegar a lo siguiente:

El terreno es un relleno hidráulico de unos 4 m de espesor de arena volcánica fina y media, poco limosa, mal graduada, producto del dragado del canal de llamada a la central termoeléctrica Manzanillo I, en la laguna de Coyutlán.

Al realizarse el dragado el material se clasificó quedando los granos más gruesos cercanos a la boca del tubo de descarga de la draga, los granos de arena más finos alejados de la misma y los finos limosos, arcillosos y orgánicos, depositados en películas impermeables al formarse remansos y en consecuencia, pérdida de velocidad del escurrimiento del agua de la descarga de la draga.

#### 5.6.2 DESCRIPCION DEL PROBLEMA.

Las capas de finos mencionados formaron barreras impermeables que impidieron (al envolver en bolsas de arena) que ésta se drenara mediante el peso de la sobrecarga en un tiempo razonable al impedir el flujo de agua a través del medio.

Además podemos mencionar algunas fallas en el proceso constructivo de la sobrecarga.

Durante visitas realizadas a lo largo del proceso, se observó que la precarga no se estaba colocando en la forma recomendada. La arena para formar el terraplen se estaba colocando en montones en lugar de tenderse por capas. Las referencias de nivel no se colocaron. Los riegos intensos de agua no se llevaron a cabo. El ingeniero superintendente de construcción comentó que el

procedimiento para colocar la precarga se dificultaba por tener que acarrear la arena empujandola con tractor ya que los camiones disponibles se atascaban en el area por los riegos intensos que se estaban realizando.

Otro problema constructivo fue el hecho de que no se alcanzó la altura de proyecto (10 metros) y solo se colocó material a una altura aproximada de 8.4 m, lo que redujo el esfuerzo necesario para provocar el asentamiento.

Por todo esto no se logró el mejoramiento de las características del terreno como se había previsto.

### 5.6.3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

De el análisis anterior se concluye que no servirá de mucho dejar el material de precarga en su sitio pues no se logrará al menos en corto tiempo la compacidad relativa esperada.

Para poder mejorar las características del suelo se le aplicará una precarga al terreno pero esta vez se hará mediante la prueba hidrostática con un buen control de esta, evitando hundimientos diferenciales que puedan poner en peligro nuestra estructura.

Por lo antes mencionado, a continuación se procederá a el cálculo de la cimentación y en un siguiente capítulo se describirá la prueba hidrostática así como el control de los asentamientos de esta.

## 5.7.0 CALCULO DE LA CIMENTACION.

### 5.7.1 INTRODUCCION.

Como ya se dijo con anterioridad la cimentación es una subestructura encargada de transmitir la carga al terreno, garantizando el buen funcionamiento de nuestra estructura.

Para el caso que nos ocupa y dadas las condiciones actuales de nuestro terreno de desplante el funcionamiento de la cimentación se considerará en dos etapas; la primera que consta de la construcción, y el montado del tanque y la segunda en la cual se realizará la prueba hidrostática, y se encontrará en condiciones de operación y con un suelo estabilizado.

En estas condiciones, para el cálculo de la cimentación no será necesario tomar en cuenta la capacidad de carga del terreno, dado que sabemos de antemano que los estratos superficiales (hasta 4 m. de profundidad) no están en condiciones de soportar la carga de proyecto, por lo que se presentarán asentamientos los cuales serán permitidos siempre que sean en forma uniforme.

A continuación se hace una explicación mas detallada de los requerimientos que hay que tomar en cuenta. Dichos requerimientos están tomados de la norma 2.214.01 de PEMEX "Cimentación de Tanques".

### 5.7.2 ALCANCE.

Las presentes especificaciones se aplican a cimentaciones de tanque de acero cilindricos verticales de fondo plano y techo fijo o flotante.

### 5.7.3 ASENTAMIENTOS.

Los asentamientos respecto a puntos de la superficie del terreno circundante no afectados por la construcción, no deberán alcanzar una magnitud tal que ocasione dificultades en la operación del tanque. El máximo asentamiento total permisible se fijará tomando en cuenta las características del tanque y la flexibilidad del sistema de alimentación del mismo; para tanques construidos con aceros ASTM A-36, ASTM 238-C y 238-D los máximos asentamientos permisibles serán los indicados en la tabla 2.

Tabla 2 Máximos asentamientos permisibles	
Tipo de asentamiento.	Máximo asentamiento
Tipo de asentamiento total en el perímetro	30 cm.
Máximo asentamiento diferencial permitido.	5 cm en 10 metros

Los movimientos relativos entre puntos del fondo no deberán rebasar los límites indicados en la tabla 2, para el tipo de acero estructural empleado.

Por otra parte, los asentamientos diferenciales a lo largo del perímetro del tanque deberán ser reducidos para limitar las deformaciones de la pared cilíndrica y garantizar el buen funcionamiento del techo flotante.

Se verificará por tanto, que la compresibilidad del terreno sea aproximadamente uniforme a lo largo del perímetro y se evitará en lo posible el desplante de los tanques sobre terreno firme y parte

sobre relleno o estratos compresibles de espesor variable.

En la tabla 2 el máximo asentamiento total es de 30 cm, sin embargo, para el caso que nos ocupa este asentamiento estará determinado por la prueba hidrostática.

#### 5.7.4 SELECCION DEL TIPO DE CIMENTACION.

Las condiciones actuales del suelo nos presentan en términos generales un suelo firme a los 4 m. de profundidad y una capa superior con falta de compacidad relativa. Dicha capa se mejorará como ya se dijo mediante la prueba hidrostática, por lo que antes de poner en operación el tanque tendremos un tanque con buenas características.

En estas condiciones la experiencia ha marcado que una buena solución a la cimentación es la de usar un anillo anular de concreto reforzado.

Este tipo de cimentación es recomendable para cualquier tipo de tanque pero en particular para tanques de techo flotante y para tanques de más de 30 m. de diámetro o de 12 m. de altura.

#### 5.7.5 REQUERIMIENTOS GENERALES DEL ANILLO DE CIMENTACION.

Las principales características de este tipo de cimentación están resumidas en la figura 5.15 El fondo del tanque descansará sobre un terraplén cuya altura se fijará en función de la magnitud de los asentamientos totales esperados y de la posibilidad de inundación de la zona; en ningún caso esta altura será inferior a 30 cm. sobre el nivel circundante. El terraplén se construirá después de substituir el material superficial indeseable por uno

libre de materias orgánicas y productos corrosivos, cuyas condiciones de compactación cumplirán con las especificadas en la tabla 4.

Si los asentamientos esperados son grandes las columnas deberán contar con un dispositivo que permita modificar su altura en caso de que resulte necesario.

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 o 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:

$$b = \frac{100 W}{\gamma_f H/2 + h(\gamma_m - \gamma_c)} \dots\dots\dots(1)$$

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.

$\gamma_f$ : peso volumétrico del fluido, en ton/m.<sup>2</sup>

$\gamma_m$ : peso volumétrico del relleno confinado, en ton/m.<sup>2</sup>

$\gamma_c$ : peso volumétrico del concreto reforzado, en ton/m.<sup>2</sup>

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

El muro será reforzado en forma continua a lo largo de toda la 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.

$$T = \frac{P_o D}{2} \dots\dots\dots(2)$$

donde:

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

D: diámetro interior, en m.

P<sub>o</sub>: presión horizontal atribuible al efecto combinado del relleno y de la sobrecarga de fluido, la cual se calculará en la forma indicada a continuación:

$$P_o = K_a (\gamma_m h + \gamma_f H) \dots\dots\dots(3)$$

donde:

$\gamma_m$ , h, y H fueron definidos anteriormente

$$K_a = \tan^2(45^\circ - \phi/2) \dots\dots\dots(4)$$

siendo  $\phi$  el ángulo de fricción interna del material de relleno.

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

El refuerzo no deberá ser inferior al indicado en la fig 5.15.

La parte superior del muro anular deberá ser lisa y a nivel, con una tolerancia de pendiente de más o menos 3 mm. por tramo de 10

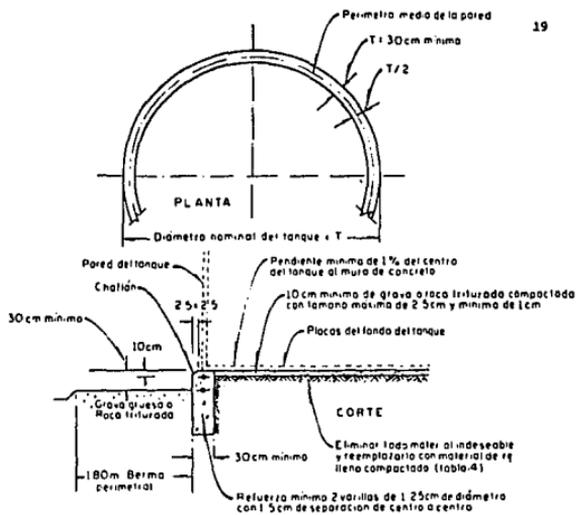


FIG 5.15 Cimentación sobre muro anular de concreto

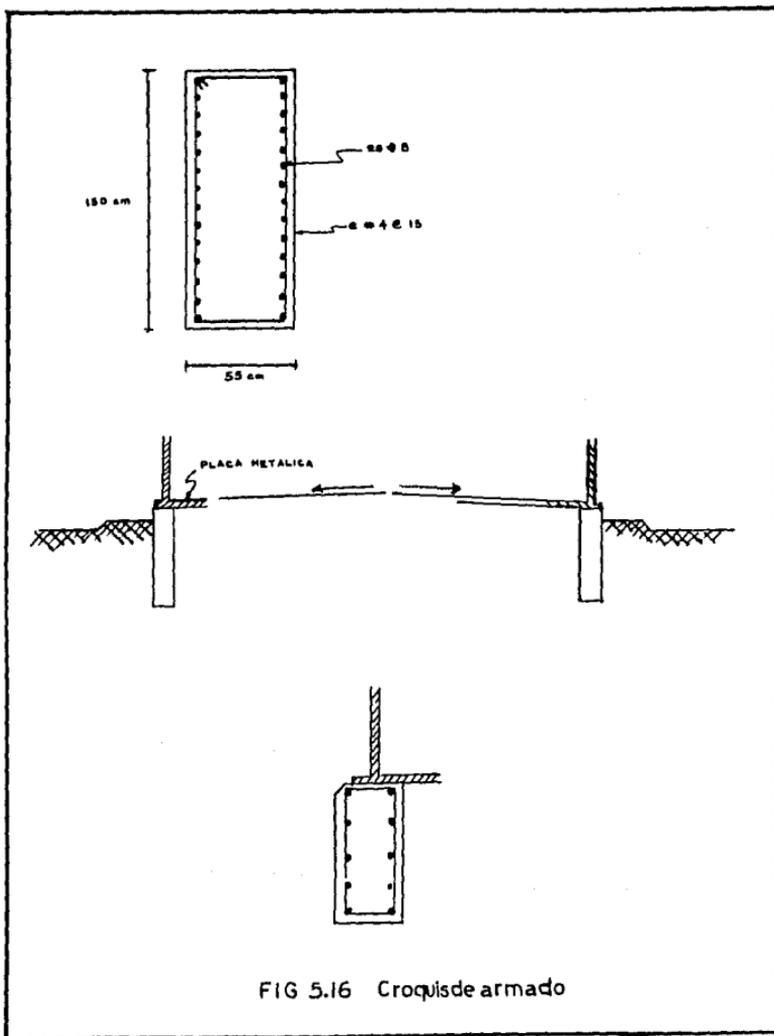


FIG 5.16 Croquisde armado

m. a lo largo de la circunferencia

Ningún punto de la circunferencia deberá presentar una diferencia de más de 5 mm. respecto a la elevación de proyecto.

### 5.7.6 CALCULO DEL ANILLO DE CIMENTACION.

La cimentación para el tanque de almacenamiento se hará tomando en cuenta las recomendaciones hechas con anterioridad.

#### Datos generales.

Díámetro del tanque.....60.960 m.  
Altura del tanque.....14.630 m.  
Peso del tanque.....829.334 ton.  
Capacidad del tanque..... 42.734 m.<sup>3</sup>  
Altura del anillo (propuesta).....1.500 m

#### Determinación de cargas.

Peso de la pared por unidad de longitud  $W_p = \frac{\text{Peso vacío-peso fondo}}{\text{Perímetro}}$

$$P_f = A \cdot e \cdot \gamma_a$$

Donde:

$A_p$ : Area del fondo.

$e$ : Espesor del fondo

$\gamma_a$ : Peso específico del acero

Substituyendo datos:

$$P_f = \frac{\pi(60.96)^2}{4} (0.0079)(7.874)$$

$$P_f = 181.55 \text{ ton.}$$

Por lo que

$$W_p = \frac{829.334 - 181.55}{\pi(69.96)}$$

$$W_p = 3.38 \text{ ton/m}$$

Determinación de la geometría del anillo.

Datos:

Peso específico del líquido almacenado( $\gamma_f$ ).....1 ton/m<sup>3</sup>  
(se considera este valor porque el peso del combustible es menor)

Peso volumétrico del concreto( $\gamma_c$ ).....2.4 ton/m<sup>3</sup>

Peso volumétrico del relleno confinado( $\gamma_m$ ).....1.6 ton/m<sup>3</sup>

Conversión de unidades.

H: altura del tanque

$$H = 14.630 \text{ m. ; } H = \frac{14.630}{0.3048} = 48 \text{ pies}$$

h: altura del anillo

$$h = 1.5 \text{ m. ; } h = \frac{1.50}{0.3048} = 4.92 \text{ pies}$$

W: peso de la pared lateral del tanque

$$W = \frac{3382(0.3048)}{0.4536} = 2272.56 \text{ lb/pie}$$

w: peso volumétrico del líquido almacenado

$$w = 1 \text{ ton/m}^3 ; w = 62.43 \text{ lb/pie}^3$$

Cálculo del Espesor del Anillo.

Substituyendo valores en la expresión (1) tenemos;

$$b = \frac{24(2272.56)}{62.43(48) - [(80)(4.92)]}$$

$$b = 21 \text{ in} = 55 \text{ cm.}$$

Cálculo del acero de refuerzo.

Cálculo de la presión horizontal debido al relleno y sobrecarga del fluido. ( $P_o$ )

De la ecuación (3) tenemos;

$$P_o = K_2(\gamma_m h + \gamma_s H)$$

a falta de información confiable del ángulo de fricción interna del material de relleno  $K_2 = 0.70$

Substituyendo valores.

$$P_o = 0.7((1.6)(1.5) + (1)(14.63))$$

$$P_o = 11.921 \text{ t/m}^2$$

Cálculo de las tensiones en el anillo.

De la ecuación (2) tenemos.

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

$$T = \frac{11.921(60.96)}{2}$$

$$T = 363.35 \text{ ton/m}$$

Cálculo del área de acero necesaria para resistir la tensión.

$$A_s = \frac{T}{f_s}$$

donde;  $f_s = 0.6 f_y$

$$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2 \text{ (esfuerzo de fluencia del acero)}$$

substituyendo valores;

$$A_s = \frac{363350}{0.6(4200)} = 144.19 \text{ cm}^2$$

utilizando dos ramas;

$$A_s = \frac{144.19}{2} = 72 \text{ cm}^2 \text{ por lecho.}$$

usando varillas del #8 ( $\phi=1\text{in}$ ); con área ( $a_v$ ) =  $5.06 \text{ cm}^2$

$$N_v = \frac{A_s}{a_v}$$

$$N_v = \frac{72}{5.06} = 14 \text{ varillas}$$

$$\text{Separación} = \frac{150}{14} = 11 \text{ cm}$$

Acero por temperatura

Bajo las condiciones de carga en que se encuentra la estructura de concreto, esta no se ve afectada por la fuerza cortante, sin embargo, por fines constructivos es necesario dotarla de

anillos para poder tener en condiciones de colado el acero longitudinal. Y a falta de fuerza de cortante para esto se tomará el mínimo que es el de temperatura.

Segun A.C.I. 318-77 el porcentaje mínimo de acero por temperatura para barras con grado menor a 40 ó 50  $P_{tem} = 0.0020$ . Por lo que para el caso que nos ocupa el área de acero es;

$$A_{st} = \frac{h*d*0.002}{2}$$

$$A_{st} = \frac{1.50(0.55)(0.002)}{2}$$

utilizando varillas del #4

$$Sep = \frac{1.27(100)}{9} = 14.1 \text{ cm}$$

$$Sep = b = 55 \text{ cm}$$

$$S = 16\phi = 20.3 \text{ cm}$$

$$Sep = 48\phi = 60.9 \text{ cm}$$

por lo que rige la separación de  $Sep = 14.1 \text{ cm}$

Para fines constructivos  $Sep = 15 \text{ cm}$ .

En la figura 5.16 se muestra el detalle de armado.

#### 5.8.0 DISEÑO POR VIENTO.

Esencialmente el viento es aire en movimiento, y al igual que cualquier otro fluido, produce distintos efectos sobre los objetos que se le interponen. Todas las fuerzas debidas al viento, son dinámicas en el sentido que son producidas por un fluido en movimiento; sin embargo, bajo determinadas circunstancias, es válido tratar estas cargas como estáticas. Esta aproximación

resulta satisfactoria dado que en general la relación entre la variación del viento en el tiempo y la frecuencia natural de la estructura es tal que se genera básicamente una respuesta estática.

Los efectos del viento en las estructuras pueden, en ocasiones, ser importantes y hacer que se violen los requisitos de seguridad y servicio establecidos para ellas. El viento, entonces, debe considerarse como una acción en el diseño estructural.

A continuación se hace un análisis detallado de las fuerzas debidas al viento que actúan sobre el tanque y los efectos que en ella causan. Dicho análisis está basado en el procedimiento recomendado por C.F.E. en su "Manual de Diseño por Viento".

#### 5.8.1. DATOS.

- a) Estructura tipo 1; Factor de ráfaga  $F_D = 1.0$
- b) Velocidad regional  $V_o = 150$  Km/Hr
- c) Tipo de topografía; Campo abierto  $\alpha = 0.14$   
terreno plano;  $K = 1$
- d) Grupo A;  $K = 1$

#### 5.8.2 CALCULO DE LA VELOCIDAD DE DISEÑO.

Velocidad básica:

$$V_b = KV_o$$

$$V_b = 1(150) = 150 \text{ Km/Hr}$$

Velocidad de viento a una altura "Z"

$$V_z = V_b (Z/10)^{\alpha}$$

$$V_z = 150(14.63/10)^{0.14}$$

$$V_z = 158.21 \text{ Km/Hr}$$

Velocidad de diseño.

$$V_d = F_r V_o$$

$$V_d = 1.0(158.21)$$

$$V_d = 158.21 \text{ Km/Hr}$$

### 5.8.3 PRESIONES Y SUCCIONES DEBIDAS AL VIENTO.

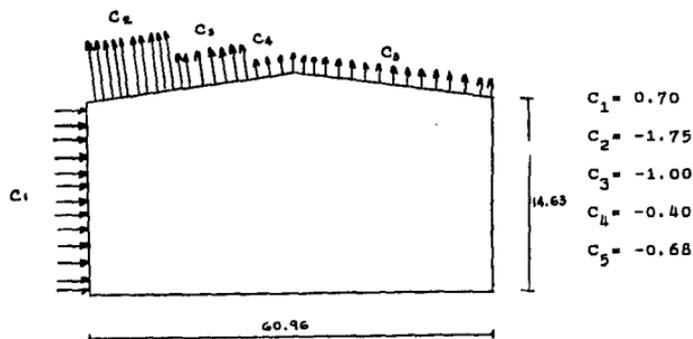
$$P = 0.0048 G C V_d^2$$

$$G = \frac{8 + 0.004z}{8 + 0.008} = 1.0 \quad ; \quad h = 4 \text{ m.s.n.m.}$$

$$P = 0.0048(1)(C)(158.21)$$

$$P = 120.15 \text{ Kg/cm}^2$$

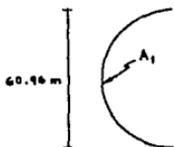
Valores del coeficiente "C".



Coefficientes para el techo.

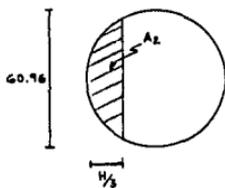
$\theta$	superficie para el techo			superficie
	zonas			de
$< 15^\circ$	barlovento	central	sotavento	sotavento
	-1.75	-1.0	-0.4	-0.68

Cálculo del area expuesta al viento.



$$A_1 = 60.96(14.63) = 891.94 \text{ m}^2$$

\* Se considera la proyección de la circunferencia



$$\frac{H}{3} = \frac{14.62}{3} = 4.88 \text{ m.}$$

$$r = \frac{h + \frac{s^2}{4h}}{2}$$

$$30.48 = \frac{4.88}{2} + \frac{s^2}{8(4.88)}$$

$$s = \sqrt{(30.48 - 2.44)(39.04)}$$

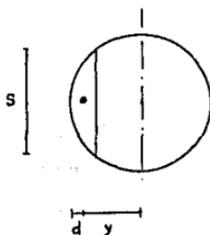
$$s = 33.09 \text{ m.}$$

$$A_2 = \frac{h}{6s} (3h^2 + 4s^2)$$

$$A_2 = \frac{4.88}{6(33.09)} [(3)(4.88^2) + (4)(33.09^2)]$$

$$A_2 = 109.41 \text{ m}^2$$

Cálculo del punto de aplicación (centroide) de la fuerza en el área  $A_2$



$$y = \frac{s^3}{12A_2}$$

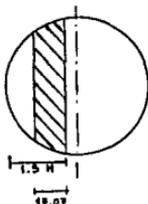
$$y = \frac{33.09^3}{12(109.41)} = 27.60 \text{ m.}$$

$$d = \text{radio} - y$$

$$d = 30.48 - 27.60 = 2.88 \text{ m.}$$

Nota: Para el caso de tanques, por ser de sección cilíndrica, no se considera succión y además se toma como coeficiente de empuje  $C=0.70$  según inciso g Manual de Obras Cíviles CFE Diseño por Viento.

Cálculo del área  $A_3$



$$1.5H = 1.5(14.63) = 21.95 \text{ m.}$$

$$21.95 - 4.88 = 17.07 \text{ m.}$$

$$\text{Area total} = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$A_t = \frac{\pi(60.96^2)}{4} = 2918.64 \text{ m}^2$$

$$r = \frac{h}{2} + \frac{s^2}{8h} ; \quad 30.48 = \frac{21.95}{2} + \frac{s^2}{8(21.95)}$$

$$s = \sqrt{(30.48 - 10.975)(175.6)}$$

$$s = 58.52 \text{ m.}$$

$$A = \frac{h}{6s} (3h^2 + 4s^2)$$

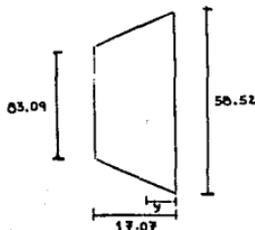
$$A = \frac{21.95}{6(58.52)} [(3)(21.95^2) + (4)(58.52^2)]$$

$$A = 946.70 \text{ m}^2$$

$$A_3 = A - A_2$$

$$A_3 = 946.80 - 109.41 = 837.29 \text{ m}^2$$

Cálculo del punto de aplicación (centroide) de la fuerza en el área  $A_3$

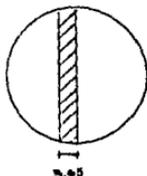


$$y = \frac{h}{3} * \frac{a+2b}{a+b}$$

$$y = \frac{17.07}{3} * \frac{58.52 + 2(33.09)}{58.09 + 33.09}$$

$$y = 7.75$$

Cálculo del área  $A_4$



$$3.65 = 30.48 - 21.95 - 4.88$$

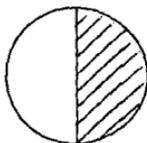
$$A_4 = A_T - A_2 - A_3$$

$$A_4 = 512.62 \text{ m}^2$$

Cálculo del punto de aplicación (centroide) de la fuerza en el área  $A_4$

$$y_5 = \frac{3.65}{2} = 1.825 \text{ m}$$

Cálculo del área  $A_5$



$$A_5 = \frac{A_T}{2}$$

$$A_5 = \frac{2918.64}{2} = 1459.32 \text{ m}^2$$

Cálculo del punto de aplicación (centroide) de la fuerza en el área  $A_5$

$$y_5 = \frac{8^3}{12A}$$

$$y_5 = \frac{30.48^3}{12(1459.32)}$$

$$y_5 = 1.62 \text{ m}^2$$

Cálculo de las presiones y/o succiones

$$P_1 = 120.15(0.7) = 84.11 \text{ Kg/m}^2$$

$$P_2 = 120.15(-1.75) = -210.26 \text{ Kg/m}^2$$

$$P_3 = 120.15(-1.0) = -120.15 \text{ Kg/m}^2$$

$$P_4 = 120.15(-0.4) = -48.06 \text{ Kg/m}^2$$

$$P_5 = 120.15(-0.68) = -81.70 \text{ Kg/m}^2$$

#### 5.8.4 CALCULO DE LAS FUERZAS ACTUANTES.

En general:  $F_n = P_n A_n$

$$F_1 = 84.11(891.85) = 75.01 \text{ ton}$$

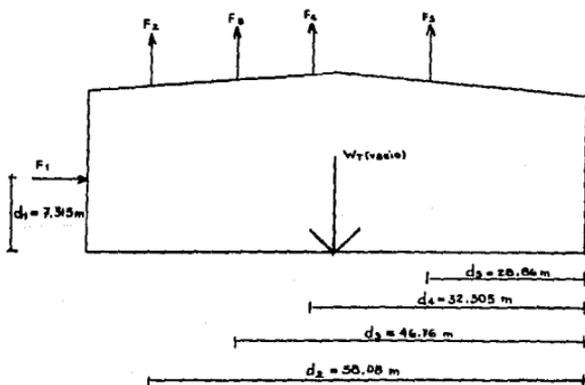
$$F_2 = -210.26(109.41) = -23.00 \text{ ton}$$

$$F_3 = -120.15(837.29) = -100.60 \text{ ton}$$

$$F_4 = -48.06(512.62) = -24.60 \text{ ton}$$

$$F_5 = -81.70(1459.32) = -119.20 \text{ ton}$$

Diagrama de Fuerzas.



### 5.8.5 MOMENTOS EN LA ESTRUCTURA.

Cálculo del momento de volteo con respecto al punto "O".

Se consideran los momentos positivos en en sentido horario.

En general:  $M_V = \sum F_1 d_1$

$$M_{V1} = 75.01(7.315) = 548.7 \text{ ton-m}$$

$$M_{V2} = -23.00(58.08) = -1335.8 \text{ ton-m}$$

$$M_{V3} = -100.6(46.76) = -4404.70 \text{ ton-m}$$

$$M_{V4} = -24.6(32.305) = -794.70 \text{ ton-m}$$

$$M_{V5} = -119.2(28.86) = -3440.11 \text{ ton-m}$$

$$M_{VT} = -9425.97 \text{ ton-m}$$

Cálculo del momento resistente.

El cálculo del momento resistente se hará considerando el tanque vacío pues para la acción del viento esta es la condición más desfavorable.

Considerando los momentos positivos en el sentido horario.

$$M_R = W_T * \text{Radio}$$

$$M_R = 829.334(30.48) = 25278.1 \text{ ton-m}$$

Factor de seguridad al volteo

$$F.S. = \frac{M_R}{M_V}$$

$$F.S. = \frac{25278.10}{9725.97} = 2.6 > 1.5$$

Por lo que concluimos que el tanque es estable y no es necesario anclarlo

#### 5.9.0 ANALISIS SISMICO DE LA CIMENTACION.

En el capítulo anterior se realizó el análisis sísmico de la estructura de acero y se concluyó que se encontraba en condiciones de operación sin necesidad de anclarla, sin embargo, no se revisó las condiciones de la cimentación bajo la acción del sismo por lo que a continuación se hará dicho análisis.

Una de las revisiones bajo sismo es la de los esfuerzos producidos en el terreno bajo la condición sísmica, para la cual necesitamos conocer la capacidad del suelo, misma que por las condiciones de este no nos es posible saber antes del cálculo de la cimentación, pues habrá que esperar a concluir la prueba hidrostática. Sin embargo, con la experiencia obtenida en otras estructuras de la planta y cercana a la zona del tanque se sabe que la capacidad de carga después de la prueba hidrostática será en forma aproximada y conservadoramente la siguiente;

$$q_A = 0.66D$$

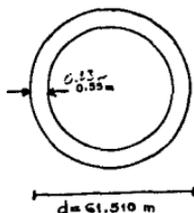
donde D es el diámetro del tanque.

Dicha capacidad de carga fue estimada a partir de la fórmula de Therzagui con la modificación propuesta por Zeeveart.

Del capítulo anterior sabemos que el momento de volteo para el tanque considerandolo lleno es:

$$M_v = 103\,991\,851 \text{ lbs-pie} = 154\,789.87 \text{ ton-m}$$

#### 5.9.1 PROPIEDADES DEL ANILLO.



$$\text{Area} = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$\text{Area} = \frac{\pi (61.510)^2}{4}$$

$$\text{Area} = 2971.54 \text{ m}^2$$

Modulo de sección.

$$S = \frac{\pi d^3}{32}$$

$$S = \frac{\pi (61.51)^3}{32}$$

$$S = 22847.42 \text{ m}^3$$

Peso del tanque lleno = 43 553.334 ton.

Peso del tanque vacío = 829.334 ton.

### 5.9.2 CALCULO DE LOS ESFUERZOS EN EL TERRENO.

Se considera el tanque lleno por ser esta la condición más desfavorable.

$$\sigma_{+} = \frac{P}{A} + \frac{Mv}{S}$$

donde

P: peso del tanque lleno.

A: area del tanque.

Mv: momento de volteo.

S: modulo de sección del anillo.

Substituyendo valores

$$\sigma = \frac{43553.334}{2971.54} + \frac{154739.87}{22847.42}$$

$$\sigma = 14.66 + 6.77 = 21.43 \text{ ton/m}^2$$

además:

$$\sigma_{\text{per}} = 0.66D$$

$$\sigma_{\text{per}} = 0.66(61.51)$$

$$\sigma_{\text{per}} = 40.596 \text{ ton/m}^2$$

Por lo que:

$$\sigma_{\text{act}} < \sigma_{\text{per}}$$

### 5.9.3 FACTORES DE SEGURIDAD AL VOLTEO Y AL DESPLAZAMIENTO.

Considerando tanque vacío.

Al volteo.

$$F.S. = \frac{Mr}{Mv}$$

$$Mr = 829.334(61.51)$$

$$Mr = 51012.33 \text{ ton-m}$$

$$Mv = 14379(2)$$

$$Mv = 28758 \text{ ton-m}$$

Substituyendo valores

$$F.S. = \frac{51012.33}{28758} = 1.77$$

El valor mínimo del F.S. al volteo es de 1.5, por lo tanto es bueno por volteo.

Al deslizamiento.

$$F.S. = \frac{Fr}{Fs}$$

Donde;

$$Fr = \mu W$$

$$Fs = Cw$$

Además:

$\mu$ : Factor de deslizamiento entre el concreto y el acero.

Cs: Coeficiente sísmico para equipos.

Segun Manual C.F.E. Cs = 0.405

W: Peso del tanque.

Substituyendo valores;

$$F_s = 0.405(824.334) = 335.88 \text{ ton}$$

$$F_r = 0.6(829.334) = 497.60 \text{ ton}$$

$$F.S. = \frac{497.60}{335.88}$$

$$F.S. = 1.48$$

El valor mínimo del F.S. al deslizamiento es de 1.25 por lo tanto es bueno al deslizamiento.

#### 5.10.0 RELLENO EN EL INTERIOR DEL ANILLO ANULAR.

Una vez terminada la construcción del anillo de cimentación, se deberán seguir las recomendaciones que a continuación se mencionan con el fin de dejar una superficie adecuada para recibir el piso metálico del tanque y garantizar la funcionalidad del sistema:

Los 10 cm. superiores del terraplén serán constituidos por arena limpia gruesa, grava o piedra molida, con un tamaño de partícula de 1 a 2.5 cm. Este estrato se estabilizará con un producto asfáltico para poder dar a la superficie de apoyo la forma adecuada. El producto empleado 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 la periferia con el objeto de compensar los asentamientos diferenciales y facilitar el lavado y la remoción de sedimentos del tanque. La pendiente se fijará en función de la magnitud de los asentamientos diferenciales esperados pero no será inferior a 1%.

En la figura 5.17 se detallan dichas recomendaciones.

TABLA 4 Condiciones de compactación de suelos para terraplenes

CONDICION 1	
Terraplenes hasta 3 m de altura no sometidos a inundaciones de larga duración.	
Peso volumétrico seco máximo de laboratorio en Kg/m <sup>3</sup>	Exigencias mínimas de compactación en el terraplén (porcentaje de peso vol. seco de laboratorio).
1439 o menos	*
1440 - 1649	100
1650 - 1759	98
1760 - 1919	95
1920 y más	90
CONDICION 11	
Terraplenes Hasta 3 m. de altura, o de menor altura sujetos a periodos largos de inundación	
Peso vol. seco máximo de laboratorio en Kg/m <sup>3</sup>	Exigencias mínimas de compactación en el terraplén (porcentaje peso vol.seco de laboratorio)
1519 o menos	**
1520 - 1649	102
1650 - 1759	100
1769 - 1919	98
1920 y más	95

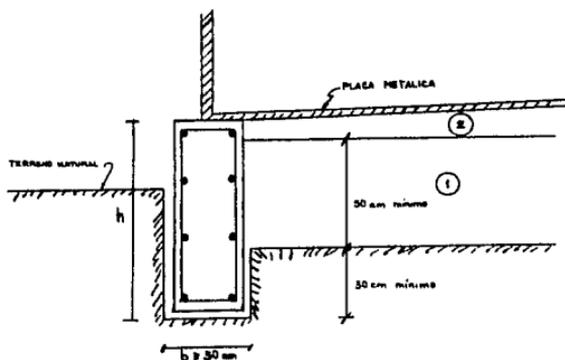
Notas a la tabla 4

- \* Los suelos con peso vol. menor de  $1\ 440\ \text{kg/m}^3$  se considerarán inadecuados y no se utilizarán en terraplenes.
- \*\* Los suelos con peso vol. seco máximo de  $1\ 529\ \text{kg/m}^3$  se considerarán inadecuados y no se utilizarán en terraplenes bajo condición 11.

Además de las condiciones indicadas anteriormente, los suelos tendrán un límite líquido menor de 65. El índice de plasticidad de los suelos con límite líquido comprendido entre 35 y 65 no será menor del valor que resulta de aplicar la fórmula  $I_p = 0.5 W_L$ , siendo  $W_L$  el contenido de agua en el límite líquido.

El máximo peso volumétrico se determinará por el ensayo proctor estándar.

FIG 5.17



- ① Relleno de material granular bien graduado, tamaño máximo 2 in compactado en capas de 0.15 m con rodillo liso vibratorio de 2 o más toneladas de peso.
- ② Capa de material granular bien graduado, tamaño máximo 3/4 in , de espesor variable (con un mínimo de 0.15 m en el paño interior del anillo de concreto); compactada con 6 pasadas de rodillo liso vibratorio de 2 ton.

## CAPITULO 6

### PRUEBA HIDROSTATICA Y ACCESORIOS.

#### 6.1.0 PRUEBA HIDROSTATICA.

La prueba hidrostática es un método mediante el cual se puede verificar la funcionalidad del sistema del tanque, garantizando así el buen funcionamiento de todos sus componentes.

Esta prueba consiste en someter a el tanque a una presión mayor o igual que la presión de trabajo. Esto se logra mediante el llenado del tanque con agua la cual le provocará la presión buscada (para el caso en cuestion como el peso específico del agua es mayor que el peso específico del combustoleo la presión inducida sera mayor que la presión de trabajo); de esta forma se podrán identificar fugas del líquido o fallas en la soldadura tanto en el piso como en la envolvente; así mismo se verificará el comportamiento del sistema de cimentación y la respuesta del suelo ante la carga.

Esta prueba se realiza en forma rutinaria a todos los tanques de almacenamiento.

Para el caso que nos ocupa se utilizará esta prueba para inducir un esfuerzo de sobrecarga a el terreno y provocarle un asentamiento que a su vez nos ayudará a alcanzar la compacidad relativa requerida para el buen funcionamiento del sistema.

#### 6.1.1 EJECUCION DE LA PRUEBA HIDROSTATICA Y RECOMENDACIONES.

- 1.- El llenado del tanque se hará en forma lenta y controlada. La velocidad de llenado será a razón de 30 cm de incremento de

altura del agua por día.

- 2.- Se colocarán 16 bancos de nivel sobre el rodapié de concreto del tanque y 9 niveles sobre el techo de modo que coincidan con la posición de las columnas.
- 3.- Los resultados de las nivelaciones se vaciarán a diario en papel milimétrico y se tendrán a la vista y actualizadas para su revisión.
- 4.- Cualquier indicio de asentamiento diferencial tanto en el rodapié de concreto como en las columnas de soporte del techo será motivo para suspender la prueba de inmediato y dar aviso a las autoridades competentes.
- 5.- La magnitud de los asentamientos diferenciales permitidos se determinaran en base a las recomendaciones dadas por PEMEX, tabla 2 capítulo 5
- 6.- En caso de exeder considerablemente los asentamientos diferenciales permitidos se descargará un poco el tanque y se continuarán las nivelaciones; en cuanto se establezca la magnitud de los asentamientos se podrá continuar con la prueba.
- 7.- Una vez lograda la estabilidad del tanque se procederá a la descarga con una velocidad de 60 cm. por día y se continuaran con los registros de nivelación.
- 8.- Una vez vacío el tanque se procederá a la revisión minuciosa del cuerpo del tanque, del fondo del mismo y de las columnas de soporte del techo, verificando las soldaduras de los mismos y poniendo mayor cuidado en las zonas en las cuales se hallan presentado asentamientos diferenciales críticos durante la prueba.

*Nota; La disposición de los 9 bancos de nivel situados sobre el*

techo se determinó tomando en cuenta nivelaciones que se registraron durante la construcción del anillo anular de concreto para la cimentación, las cuales indicaron un mayor asentamiento en dichas zonas.

## 6.2.0 ACCESORIOS.

De las diferentes formas de recipientes y tanques descritas en los capítulos anteriores se mencionó que tenían diferentes usos, pero cabe señalar que dentro de un mismo tipo de tanque existe una clara clasificación de acuerdo con los accesorios y aditamentos con que cuenta, además de contener diferentes substancias.

Para conocer el contenido de los tanques de almacenamiento se les pintan franjas de determinado color, dependiendo del líquido contenido; así tenemos que para el caso de nuestro tanque que se diseñó para almacenar combustóleo se le pintará una franja de color negro a la mitad de la altura de la envolvente.

Existen varios accesorios y aditamentos con que debe contar un tanque de almacenamiento, que nos permiten conocer las condiciones de servicio del tanque. A continuación daremos una descripción de los accesorios más comunes:

**MANOMETRO:** Instrumento que nos permite conocer la presión interna del tanque a diferentes alturas.

**TERMOMETRO:** Instrumento para conocer la temperatura del líquido contenido.

**ESCALERA DE ESPIRAL:** Esta ubicada en la parte exterior del tanque y nos permite realizar las lecturas de los manómetros y termómetros.

**ESCALERA DE PASA MANO:** Ubicada en el interior del tanque y nos permite realizar inspecciones en estado vacío.

**PASARELA:** Es una especie de pasillo con barandal que nos permite caminar sobre el techo del tanque.

**DRENAJE:** Sistema que permite vaciar el tanque sin necesidad de utilizar un sistema de bombeo.

**NIVEL:** Indicador ubicado en la envolvente que funciona en coordinación con un flotador para señalar el nivel del líquido contenido.

**VENTEO:** Tubo con codo de 180° que permite la eliminación de gases tóxicos e inflamables que se forman en el interior del tanque.

#### **EQUIPO CONTRA INCENDIO**

Aspersores

Válvulas de seguridad

Arrestador de flama

**ENTRADA DE HOMBRE:** Las entradas de hombre son accesorios que son indispensables para tanques y recipientes cerrados; para permitir la inspección, reparación y limpieza del interior del tanque e incluso su construcción.

Estas entradas de hombre pueden estar localizadas en el techo o bien en la envolvente del tanque o en ambos lugares. Las entradas de hombre ubicadas en la envolvente tienen la ventaja de permitir un acceso más fácil sin tener que utilizar escaleras para llegar a ellas pero, sin embargo, tienen la desventaja de que el tanque debe estar vacío para poder entrar, por ello es que se utilizan con mayor frecuencia las entradas de hombre en el techo.

**BOQUILLAS:** Son orificios de forma circular que se hacen en la envolvente para conectar las tuberías de carga y descarga del tanque. Estos orificios deben ser reforzados con otra placa

para absorber los esfuerzos que son inducidos por la presión del líquido contenido en el momento de cargar o vaciar el tanque. Frecuentemente las boquillas para carga y descarga se ubican en la parte inferior de la envolvente para aprovechar los beneficios de la gravedad en el momento de la descarga.

#### DIQUE:

El dique es una estructura de apoyo del tanque de almacenamiento la cual esta enfocada a proporcionar seguridad al resto de la planta en caso de accidente.

El dique protegerá y aislará al mismo tiempo, y en caso de que ocurra algun derrame de combustible, o en el más desfavorable de los casos ocurriese un incendio poder proteger las instalaciones que estan cercanas a este.

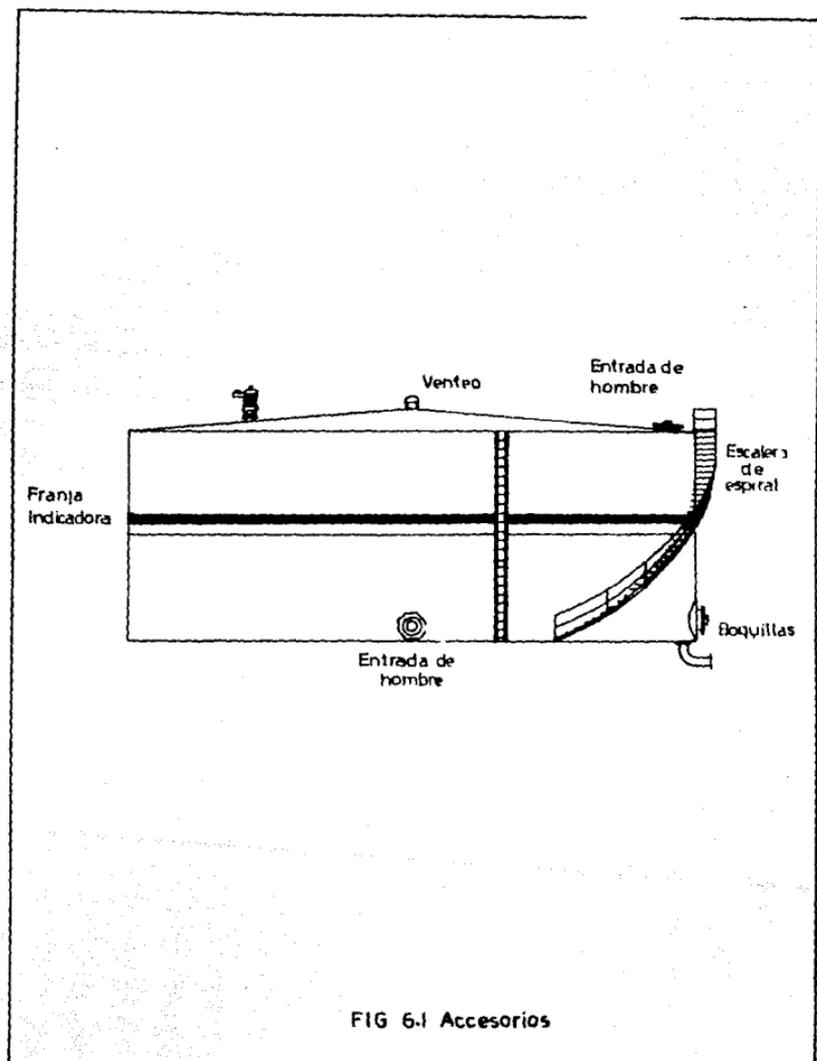
El dique debe de ser capaz de contener la capacidad total del tanque de almacenamiento para poder así garantizar la seguridad de la planta.

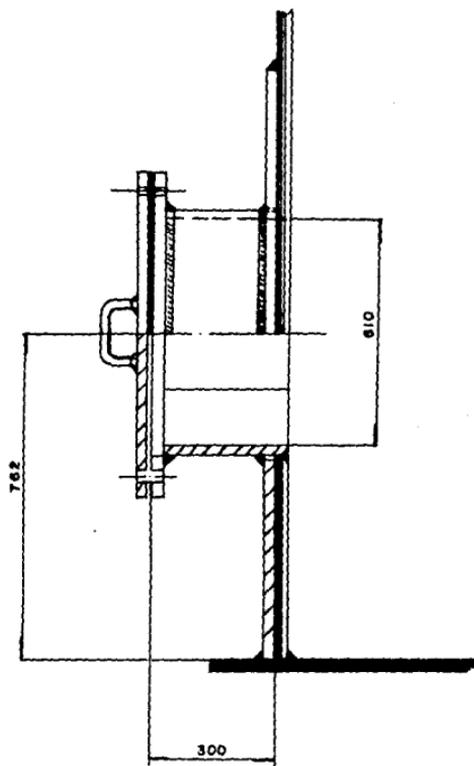
A su vez el dique esta provisto de algunos aditamentos para su buen funcionamiento; los cuales se enumeran a continuación:

1. Escaleras.- Para que el personal pueda tener un fácil acceso a el tanque y desarrolle sus actividades; o en caso de derrame pueda salir con mayor rapidez.
2. Registros.- Para la captación del líquido en caso de derrame.
3. Tuberías.- Para la recuperación del líquido en caso de derrame; estas tuberías estan conectadas a los registros.
4. Válvulas.- Para el control de las tuberías.

En la figura 6.3 se muestra una vista general del tanque con el

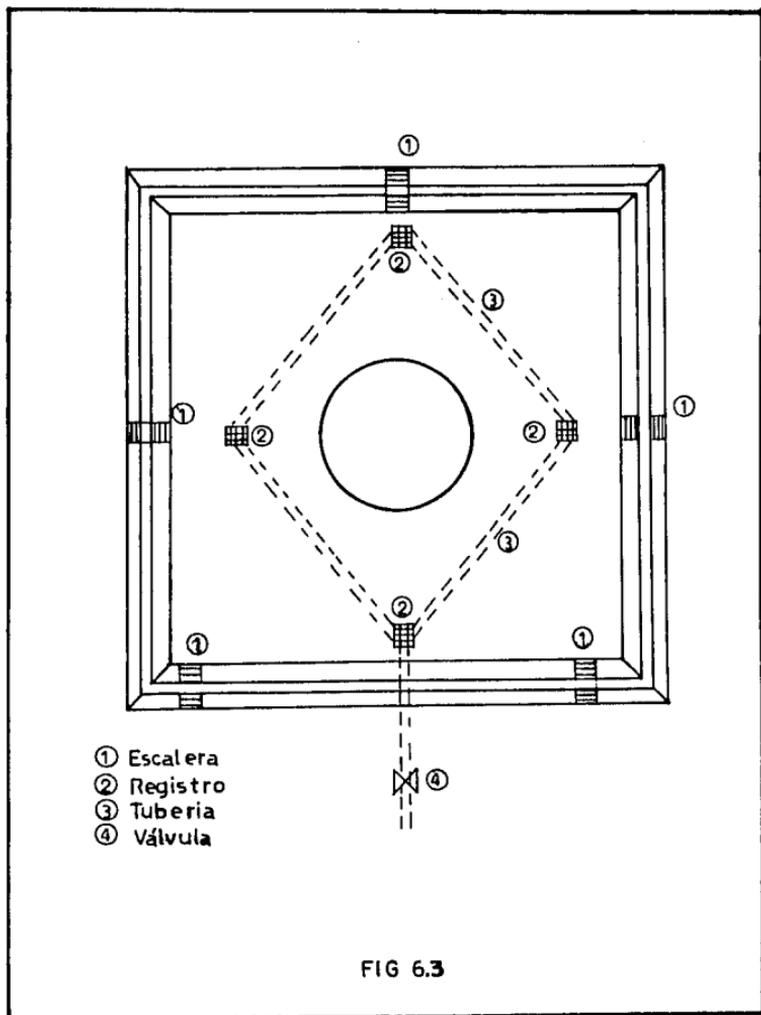
dique y sus accesorios.





ENTRADA DE HOMBRE EN ENVOLVENTE 24"  $\varnothing$

FIG 6.2



## CAPITULO 7

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

#### 7.1.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

En la práctica de la ingeniería es común que nos encontremos con algunas discrepancias al resolver los diferentes problemas a los que nos enfrentamos, y nos damos cuenta que por problemas aparentemente idénticos resultan tener sus pequeñas y grandes variaciones; de ahí que el ingeniero debe de poner todo su conocimiento y astucia al resolver los distintos problemas a los que se enfrenta.

En las siguientes líneas hacemos mención de aquellas cosas que en el desarrollo de este trabajo fueron de alguna manera sobresalientes.

El diseño de recipientes y tanques de almacenamiento en México esta basado en normas americanas, por lo que se recurre al uso del sistema inglés para algunos de los cálculos, por lo que recomendamos al Instituto Mexicano del Petróleo (considerando que dicho instituto cuenta con la experiencia y el personal capacitado) la elaboración de normas y ayudas para el diseño de tanques de almacenamiento que permitan el uso de coeficientes sísmicos del país y el uso del sistema métrico decimal.

En lo que se refiere a la cimentación del tanque, dentro del estudio de las características del suelo y el mejoramiento del mismo, podemos mencionar lo difícil que resulta el poder conocer

con exactitud las características del suelo y, más aun seleccionar el método más adecuado para poder estabilizar dicho suelo, sin embargo, dentro del sistema combinado que se utilizó como solución a este problema, la precarga ayudo a estabilizar un poco el suelo y disminuyó en parte los asentamientos diferenciales, los cuales muy probablemente no se hubieran podido controlar con la prueba hidrostática, o su tiempo de realización se hubiera incrementado significativamente, sin embargo, el uso de una técnica combinada nos dio buenos resultados, y así podemos reafirmar que los problemas en la mecánica de suelos no son únicos y que no existen reglas para su solución.

## Bibliografía.

- Manual de diseño de obras civiles  
Estructuras  
Diseño por Sismo  
Comisión Federal de Electricidad
- Manual de diseño de obras civiles  
Estructuras  
Diseño por Viento  
Comisión Federal de Electricidad
- Norma Petroleos Mexicanos (2.214.01)  
Cimentación de tanques
- Mecánica de suelos  
Juarez Badillo, Rico Rodriguez  
Tomo 1
- Norma Petroleos Mexicanos (2.214.05)  
Exploración y muestreo de suelos para proyectos de cimentación  
(primera parte)
- Norma Petroleos Mexicanos (2.214.03)  
Diseño y control de procedimientos de consolidación acelerada  
de suelos blandos
- Diseño estructural  
Roberto Meli Piralla
- Manual AHMSA para ingenieros  
AHMSA
- Energía  
Dirección general de educación tecnológica industrial

- **Equipment Design**  
Lloyd E. Brownell  
Edwin H. Young
- **Teoría de placas y láminas**  
Timoshenko Stephen  
Woinowsky Krieger
- **Mecánica de materiales**  
Egor P. Popov
- **Diseño Estructural II**  
Fernando Tavera M.  
Jorge A. Moreno G.