

207  
77



Universidad Nacional Autónoma  
de México

FACULTAD DE INGENIERIA

DISEÑO DE LA CIMENTACION Y PROCESO  
CONSTRUCTIVO DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO

T E S I S

Que para obtener el Título de  
INGENIERO CIVIL

presenta:

AURELIO GARCIA BELTRAN



México, D. F.

1986



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

1

# DISEÑO DE LA CIMENTACION Y PROCESO CONSTRUCTIVO DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO

	Página
<b>I.- INTRODUCCION</b>	2
1.1.- Descripción general del complejo petroquímico Morelos	3
1.2.- Localización	7
1.3.- Vías de comunicación	9
<b>II.- TORRES DE ENFRIAMIENTO</b>	10
II.1.- Introducción	10
II.2.- Descripción de Torres de Enfriamiento	12
II.3.- Sistemas de enfriamiento	14
<b>III.- CIMENTACION</b>	25
III.1.- Estudio de mecánica de suelos	25
III.2.- Exploración del subsuelo	32
III.3.- Alternativas de diseño	46
III.4.- Diseño de la cimentación	47
<b>IV.- PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO</b>	58
IV.1.- Requisitos de ejecución	64
<b>V.- COSTOS</b>	72
V.1.- Especificación y descripción del concepto	74
V.2.- Especificaciones particulares	91
<b>VI.- CONCLUSIONES</b>	95
<b>REFERENCIAS</b>	

## CAPITULO I

### INTRODUCCION

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

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

El gas separado en las bacterías es comprimido y enviado a los complejos Petroquímicos como Cangrejera, Pajaritos y posteriormente será enviado a Morelos, donde los hidrocarburos son tratados para eliminar sus impurezas y fraccionado posteriormente en metano (que es el principal componente del gas natural), etano, propano, butano, hexano, isopentano y gasolina natural.

El centro petroquímico Morelos, es la respuesta de Petróleos Mexicanos a la urgente necesidad de fabricar en nuestro país una mayor cantidad de productos petroquímicos, para hacernos autosuficientes y evitar cuantiosas importaciones que afectan adversamente a la economía nacional.

#### 1.1- Descripción General del Complejo Petroquímico Morelos.

Dicho complejo esta formado en su primera etapa por las siguientes instalaciones:

- 1.- Planta fraccionadora de hidrocarburos criogénicos:  
Capacidad 104,000 barriles diarios de gasolina natural y condensado, estos hidrocarburos ligeros serán obtenidos en el Centro Industrial de Cactus, Chis., actualmente en operación, así como de los futuros complejos petroquímicos de Tabasco I y II.  
Uso:  
Una mezcla de propano y butano forman el gas doméstico usado en las estufas. También se usará como refrigerante y combustibles especiales.
- 2.- Planta de oxígeno:  
Esta planta producirá 350,000 toneladas anuales de oxígeno de alta pureza y 40,000 toneladas de nitrógeno de alta pureza mediante licuefacción y fraccionamiento de

aire. El oxígeno se utilizará como materia prima en las plantas de oxígeno, de etileno, de acetaldehído y óxido de propileno.

3.- Planta de etileno:

Con capacidad de 500,000 ton. anuales, esta planta -- utilizará como materia prima el etano producido en la planta fraccionadora de hidrocarburos ligeros mencionada en párrafos anteriores y lo convertirá en etileno por el proceso de pirólisis.

4.- Planta de óxido de etileno:

Con capacidad de 100,00 ton. anuales, esta planta utilizará el proceso de oxidación de etileno con oxígeno de alta pureza en una sola etapa de producción en la presencia de un catalizador sólido a base de óxido de plata.

5.- Planta de polietileno:

Resina termoplástica que se fabrica polimerizando el etileno. El polietileno es un material translúcido de aspecto ceroideo, tenaz y resistente a la mayor parte de productos químicos usuales. Esta planta tendrá capacidad de 100,000 ton. anuales y ésta a la vez es de suma importancia por el valor que tiene el polietileno de baja densidad.

6.- Planta de polipropileno:

El polipropileno se obtiene por polimerización del propileno en presencia de ácido fosfórico o de otro catalizador y es empleado como materia prima para la fabricación de otros productos, así como para la fabricación de detergentes. Esta planta tendrá la capacidad de producir

100,000 ton. anuales de polipropileno natural e incoloro en forma de píldoras a partir del propileno y etileno.

Para la segunda etapa se tienen proyectadas las plantas siguientes:

Planta de Propileno

Acetaldehído

Acrilonitrilo

Alcohol isopropílico

Butadieno

Preparadora de carga de Butadieno.

El proyecto de integración del Complejo Petroquímico, será desarrollado por la Superintendencia de Ingeniería de diseño, los conceptos generales a cubrir son:

- 1.- Planificación
- 2.- Abastecimiento de agua
- 3.- Torre de Enfriamiento
- 4.- Red contraincendio
- 5.- Almacenamiento de materiales primas y productos (partido de tanques).
- 6.- Transporte productos hasta el área de ventas
- 7.- Sistema de bombeo y tuberías
- 8.- Sistema eléctrico
- 9.- Telecomunicaciones (servicio telefónico y radioenlace).
- 10.- Sistema de combustible
- 11.- Sistema de drenaje
- 12.- Sistema de tratamiento de efluentes

Con la construcción del Complejo Petroquímico Morelos, se pretende eliminar uno de los principales problemas a que se enfrenta la econo-

mía mexicana actualmente, que es la fuga de divisas por la compra al extranjero principalmente de productos petroquímicos elaborados.

Con las nuevas plantas que instalará PEMEX en el complejo - Petroquímico Morelos, en el Ejido de Gavilán de Allende, Ver. México pronto dejará de ser un país importador de productos químicos (básicos) para convertirse en un país exportador de este tipo de productos y competir ventajosamente dentro del mercado internacional.



## 1.2.-

Localización

El Complejo Petroquímico Morelos se encuentra localizado en el Sur de Edo. de Veracruz, a 8 km. de la ciudad de Coatzacoalcos sobre la derivación a Rabón Grande de la carretera federal 180 Coatzacoalcos-Villahermosa.

Sus colindancias son: Al sur con el Complejo Petroquímico Pajaritos, Terminal Marítima y colonia habitacional de Pajaritos; hacia el sureste con el Complejo Petroquímico de Cangrejera; por el lado oriente con la Laguna de Pajaritos y terrenos propiedad de PEMEX; por el lado norte con el Ejido Gavilán de Allende, y el Golfo de México; por el este con el Ejido Colorado y la presa de Yeso de "FERTIMEX".

La superficie que abarca es de 350 Has. perteneciente al Municipio de Coatzacoalcos, el cual colinda de la siguiente manera:

Norte: Golfo de México

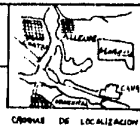
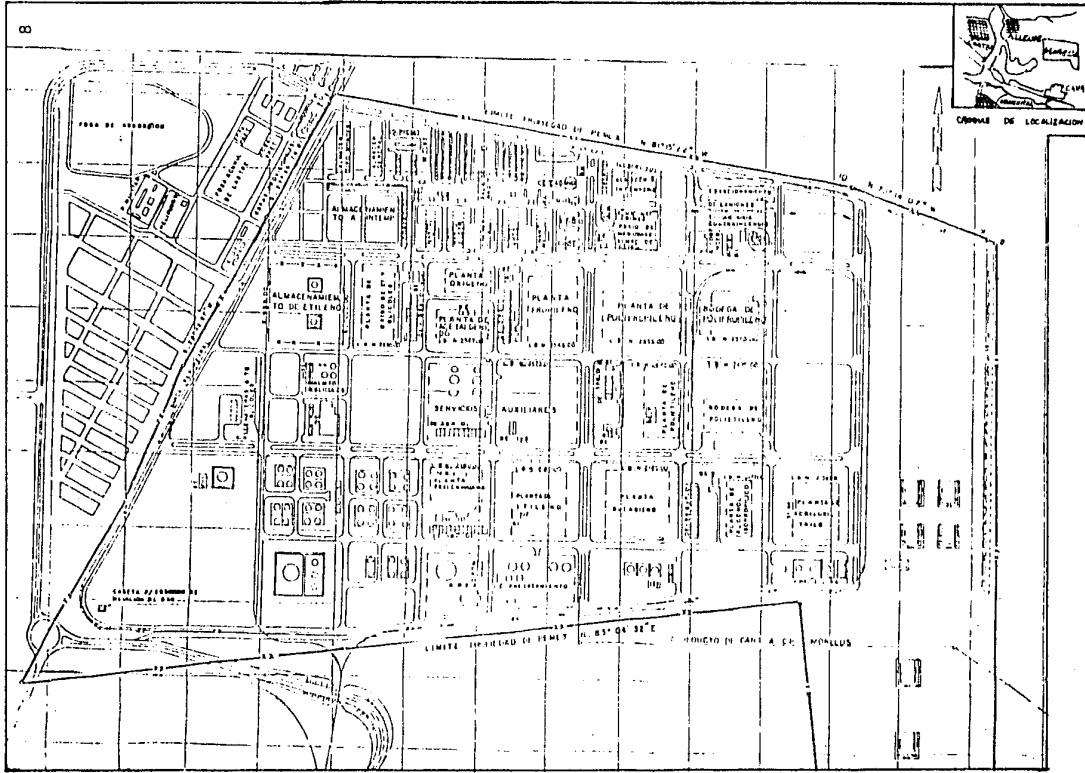
Sur: Municipios de Minatitlán, Ixhuatlán del Sureste y las Choapas.

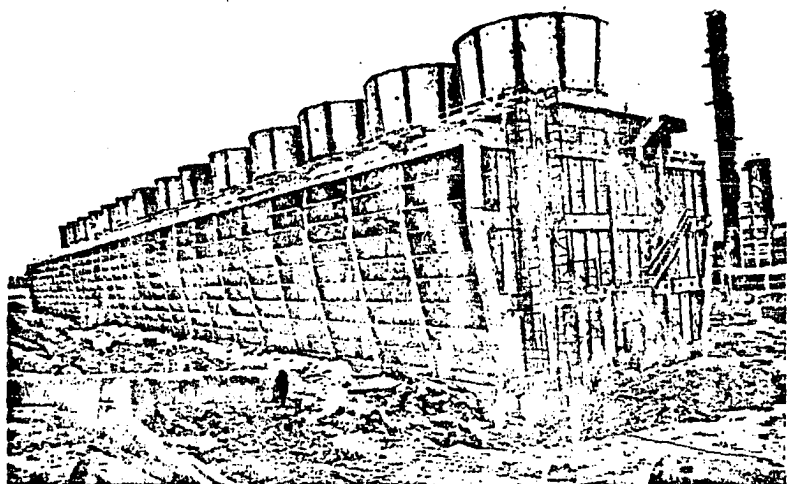
Oeste: Municipio de Cosoleacaque

Este: Estado de Tabasco.

La situación geográfica del municipio es a los  $18^{\circ}08'56''$  latitud norte y  $94^{\circ}24'10''$  longitud oeste del meridiano Greenwich.

La topografía existente en el área donde se localiza el Complejo, es bastante accidentada pues la diferencia de elevaciones es de la +5.00 a la Elev. +50.00 M. por la cual se tiene una serie de lomeríos.





## 1.3

Vías de Comunicación

Se tiene como comunicación principal a la carretera federal - 180 Coatzacoalcos-Villahermosa, la cual forma parte de la carretera costera del Golfo, a la cual entronca, la carretera transístmica de Coatzacoalcos a Salina Cruz.

Actualmente se encuentra en construcción el acceso al Complejo Petroquímico - Morelos, pasando por Pajaritos, posteriormente se prosigue por el camino de terracería que conduce a Rabón Grande y a la congregación de Allende.

Se tiene en etapa de construcción el acceso a Allende 1 km. aproximadamente el cual además de dar servicio a Allende servirá para comunicarse con el Complejo Morelos, la colonia habitacional de Gavilán de Allende, Guillermo Prieto y otras rancherías. Paralelo al acceso se tiene actualmente en construcción un ramal de F.F.C.C. que entroncará con la vía de F.F.C.C. -- Coatzacoalcos-Mérida de los ferrocarriles unidos del Sureste, cuenta también -- con la terminal Marítima en la laguna de Pajaritos como vía para la exportación de productos petroquímicos terminados, y con el aeropuerto de Cánticas, -- al poniente de la Ciudad de Coatzacoalcos.

El Complejo Petroquímico Morelos, se encuentra ubicado cerca de la costa del Golfo de México y de la desembocadura del río Coatzacoalcos, fisogeográficamente el área del Complejo se ubica en la cuenca del Istmo con una zona de suelos residuales de color variado ( anaranjado, rojizo, amarillento, café y gris) el grado de alteración disminuye en la profundidad donde existen capas delgadas fuertemente cementadas, identificadas como arcillosas.

## CAPITULO II

### TORRES DE ENFRIAMIENTO

#### II.1

#### Introducción

En la actualidad, una de las principales necesidades que se tiene dentro de la industria general, es la de enfriar todo tipos de fluídos. Esta operación de enfriamiento se realiza normalmente en los cambiadores de calor, los que en su mayoría emplean agua como medio de enfriamiento.

Dado que el agua es un producto cada vez mas escaso y la calidad de la misma no siempre es la deseada se hace necesario enfiarla y tratarla para su nuevo uso. Con esto, surge la imperiosa necesidad de emplear las torres de enfriamiento en cualquiera de sus tipos, de acuerdo a las características del proceso.

Las torres de enfriamiento se rigen por un mecanismo de operación, el cual consiste en poner en contacto directo una corriente de agua caliente con una corriente de aire frío. El contacto de éstas, da lugar a una transferencia de masa y calor en forma simultánea, logrando que disminuya la temperatura del agua.

En la parte superior de la torre, el agua caliente se pone en contacto con el aire de salida que es mas frío que el agua, se observa que la presión parcial del agua fuera del líquido y su temperatura correspondiente, son mayores que la del aire de salida. De aquí se deduce que ambos potenciales sirven para bajar la temperatura del agua por evaporación y transferencia de calor sensible al aire. En esta forma, dependiendo de la cantidad de aire y de la evaporación, es posible que la temperatura del agua descienda debajo de la temperatura del bulbo seco del aire de entrada antes de alcanzar el fondo de la torre por el que entra el aire; sin embargo, el límite al que la temperatura del agua de salida puede llegar en una torre de enfriamiento, es el que está adiabáticamente en equilibrio con el aire de entrada, es decir el bulbo húmedo.

La caída del agua, puede ser libre o sobre una serie de empaques según el tipo de torre, pero siempre con la finalidad de establecer el contacto entre el agua y el aire para lograr la disminución de temperatura del agua, utilizando empaque, inicialmente se forma una película y luego gotas, que van cayendo hasta golpear el siguiente empaque; esto da lugar a que con el paso del aire a contracorriente, el agua se enfríe y el aire se humidifique.

## 11.2

Descripción de torres de enfriamiento

La torre cuenta con un sistema de distribución para separar el agua que se va a enfriar uniformemente sobre el empaque, y obtener así un rompimiento del flujo en partes pequeñas o gotas y lograr con esto una mayor área de transferencia.

Se utilizará el sistema de distribución por gravedad, que consiste en una caja distribuidora a donde cae el agua de retorno y se derrama sobre una losa de orificios.

Para efectuar el enfriamiento y meter cantidades grandes de aire, se emplean los ventiladores, los cuales mueven los gases o vapores por medio de hojas rotatorias o impulsores, y cambian la energía rotatoria mecánica en presión de trabajo sobre los gases o vapores. Se usará el de tipo axial.

Los ventiladores están acoplados al motor por medio de un reductor de velocidad que es una caja de engranes con cortes especiales, el cual reduce la velocidad del sistema motriz al equipo sin pérdida apreciable de potencia.

El equipo va sobre la chimenea o ciclón de descarga y es la parte superior de la torre de enfriamiento que sirve para descargar el aire a alta velocidad, para éste caso usaremos el tipo Venturí.

El relleno es la sección de la torre en la cual se va a efectuar la transferencia de calor, la cual va a ir sobre soportes, que pueden ser mallas de acero inoxidable o grapas para fijar el relleno.

**Torre de enfriamiento:**

- 1.- Sistema de distribución
- 2.- Puente del ventilador
- 3.- Distribución por orificios
- 4.- Caja distribuidora
- 5.- Ventilador tipo axial
- 6.- Reductor de velocidad
- 7.- Malla de ventilador
- 8.- Chimenea del ventilador
- 9.- Motor
- 10.- Cubierta corrugada
- 11.- Recipiente concreto
- 12.- Persianas corrugadas entrada aire
- 13.- Empaque y soporte del mismo
- 14.- Eliminadores de rocío

Con la finalidad de recuperar el agua arrastrada por el aire se instalarán en el borde de salida de la torre los eliminadores de rocío. Las persianas son elementos que permiten que la entrada del aire sea dirigida a la torre, dándole mayor velocidad. Se considera como equipo auxiliar de la torre los filtros laterales, las bombas, el clorador y el sistema de químicos.



## 11.3

Sistema de enfriamiento

Típos de equipos industriales empleados para sistemas de enfriamiento de agua.

La siguiente clasificación de los sistemas de enfriamiento se basa en la forma de suministrar el aire al equipo:

- 1.- Alberca de enfriamiento
- 2.- Albercas o pozos de pulverización
- 3.- Torre atmosférica de tiro natural
- 4.- Torre atmosférica de tiro natural con espreas
- 5.- Torre hiperbólica
- 6.- Torre de tiro forzado o contracorriente
- 7.- Torre de tiro inducido con flujo a contracorriente
- 8.- Torre tiro inducido a flujo cruzado

1.- Alberca de enfriamiento.

Características de este equipo.

Alberca o pozo donde simplemente se deja reposar el agua para su enfriamiento. Las principales ventajas que presentan son:

- Bajo costo de construcción
- Largo tiempo de residencia
- Maneja grandes gastos de agua

Las desventajas que este tipo de equipo presenta son:

- Baja transmisión de calor
- Se requiere de una gran área para su ubicación
- Operación limitada a las características del medio ambiente.
- Contaminación con materia orgánica, por lo que

requiere mantenimiento.

## 2.- Albercas o pozos de pulverización

Características de este equipo:

Equipo muy semejante al anterior, con la única diferencia que cuenta con un conjunto de espreas para favorecer el contacto directo del aire y el agua pulverizada.

Las principales ventajas que éste equipo presenta son:

- Bajo costo de construcción
- Largo tiempo de residencia
- Maneja grandes gastos de agua

Las desventajas que este equipo presenta son:

- Requiere de una gran área para su ubicación
- Pérdidas considerables de agua por arrastre
- Mantenimiento a espreas
- Operación condicionada a medio ambiente
- Alta contaminación con materia orgánica.

## 3.- Torre atmosférica tiro natural

Características de este equipo:

Este tipo de torre funciona como chimenea, ya que la diferencia de densidades entre el aire de la torre y el del exterior, causa un flujo natural de aire frío.

Las ventajas que esta torre presenta son:

- Un área pequeña de ubicación
- Costo bajo de mantenimiento
- Costo bajo de operación

Las desventajas que éstas torres presentan son:

- Costo muy alto de construcción e instalación
- Su rango de enfriamiento limitado a las temperatu

ras y condiciones del medio ambiente.

#### 4.- Torre atmosférica de tipo natural con espreas.

Características de este equipo:

Este tipo de torre es muy semejante al anterior, con la diferencia de que éste cuenta con un grupo de espreas, además de un grupo de persianas (manparas) que tienen como finalidad cambiar la dirección del aire. Las ventajas que éste tipo de torres presenta son:

- No existe gasto de energía eléctrica por ventilación.
- Poco gasto de mantenimiento (mas que la torre anterior).

Las ventajas que esta torre presenta son:

- Alto costo de construcción
- Pérdidas de agua por arrastre
- No cuenta con relleno por lo tanto su eficiencia disminuye.

#### 5.- Torre hiperbólica

Características de este equipo:

El principio de operación de este tipo de torres se basa en la diferencia de densidades entre el aire saturado - que sale de la torre y el aire que entra. Este flujo de aire es inducido en la chimenea de gran dimensión que esta colocada encima del relleno de la torre.

Las ventajas que este tipo de torre presenta son:

- Tiene pocas pérdidas por arrastre
- No existen gastos por concepto de ventilación

Las desventajas de esta torre son:

- Gasto de inversión muy alto
- Su eficiencia esta limitada a las condiciones del medio ambiente.

#### 6.- Torre de tiro forzado o contra corriente.

Características de este equipo:

Con este tipo de torre se inicia el grupo de las llamadas de "Tiro Mecánica". La torre esta equipada con uno o varios ventiladores a la entrada del aire, estos ventiladores tienen la finalidad de impulsar el aire a través de la torre. De este modo el agua fluye hacia el basín y el aire que entra por la parte inferior de la torre fluye en contracorriente.

Las ventajas que este tipo de torres presenta son:

- Efectiva para acercamiento pequeños
- Requiere de menos área efectiva para llevar a cabo el enfriamiento.
- Pocas pérdidas por arrastre
- El tipo de motores empleados en los ventiladores son:  
del tipo sin protección al calor y/o humedad.

Las desventajas que esta torre presenta son:

- Gran consumo de energía eléctrica por bombeo y ventilación
- Alto costo de construcción
- Tiene mucha recirculación de vapores y aire caliente y esto afecta su eficiencia.

### 7.- Torre de tiro inducido con flujo a contracorriente.

En este tipo de torres, la disposición o colocación de los ventiladores es en la parte superior, es decir a la salida del aire caliente. Su mecánica de operación consiste en extraer el aire caliente de toda la torre por medio del ventilador. La operación se lleva a cabo en contracorriente de acuerdo al sentido del agua ya que ésta sigue la trayectoria de arriba hasta el fondo de la torre mientras que la trayectoria del aire es en sentido opuesto, del fondo de la torre a la parte superior.

Las ventajas que este tipo de torres presenta son:

- Para acercamientos pequeños
- Area afectiva menor a tiro cruzado
- Poca pérdida por arrastre
- Su AP para agua y aire es del orden de  $3/4$  pulgada de agua.
- Menor altura que la de flujo cruzado

Las desventajas que este tipo de torre presente son:

- Mayor altura que la de flujo cruzado.
- Mayor costo de operación.
- Tiene mas efecto por recirculación de aire caliente.

Descripción de este equipo:

Este tipo de equipo cuenta con las siguientes partes o sistemas:

- Sistema de distribución de agua ( bombeo).

- Relleno ( empaque)
- Sistema de ventilación ( ventiladores)
- Eliminadores de rocío
- Estanque de agua
- Persianas
- Equipo para dosificación de químicos.

#### 8.- Torre de tiro inducido a flujo cruzado

Características de este equipo:

Las características de este tipo de torres son muy semejantes al caso anterior. La colocación de los ventiladores es también en la parte superior rigiéndose en el mismo principio de operación, lo diferente es que el flujo del aire con respecto a el agua, es cruzado.

Las ventajas que este equipo presenta son:

- Tiene mayor altura que la torre a contracorriente
- Tiene menor consumo de energía eléctrica por ventilación y bombeo .
- Su AP para agua y aire es del orden de 1/2 pulgada de agua
- Da un mayor acercamiento
- Se utiliza para flujos hasta de 10,000 GPM como máximo

Las desventajas que este tipo presenta son:

- Requiere una mayor área de exposición, por lo que el área de terreno es mayor
- Tiene mas pérdidas por arrastre
- Tiene un alto costo de mantenimiento

**Descripción del equipo:**

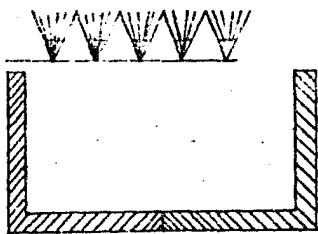
Este tipo de torres cuenta con las siguientes partes:

- Sistema de distribución de agua ( bombeo)
- Relleno ( empaque)
- Sistema de ventilación ( ventiladores)
- Eliminadores de rocío
- Persianas
- Equipo para dosificación de químicos

Este último sistema de enfriamiento es el que se emplea, en la torre de enfriamiento del presente trabajo.

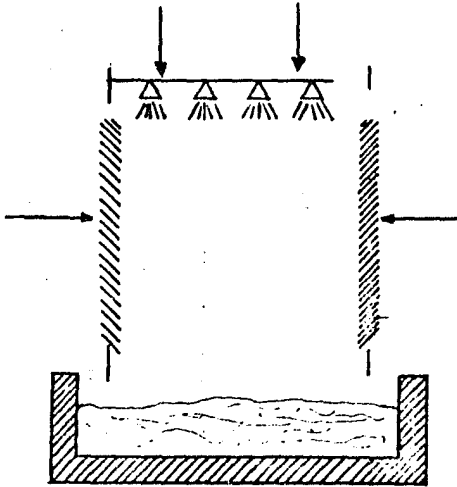


ALBERCA DE ENFRIAMIENTO

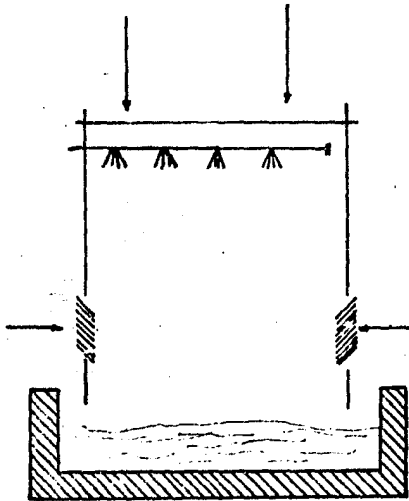


ALBERCA O POZOS DE PULVERIZACION

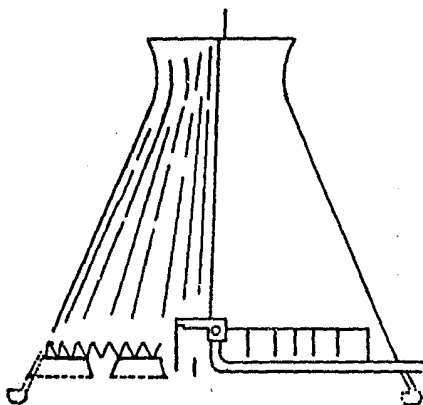




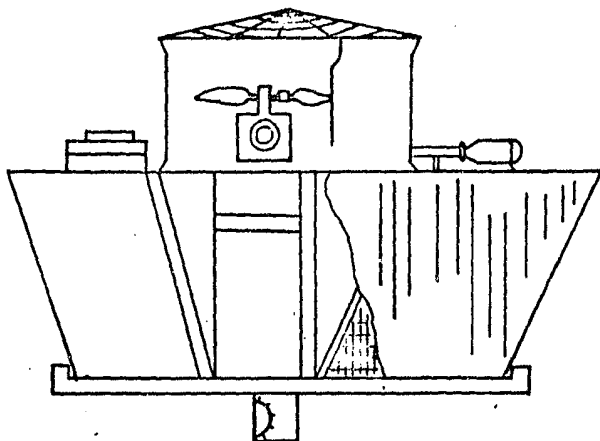
TORRE ATMOSFERICA DE TIRO NATURAL CON ESPREAS



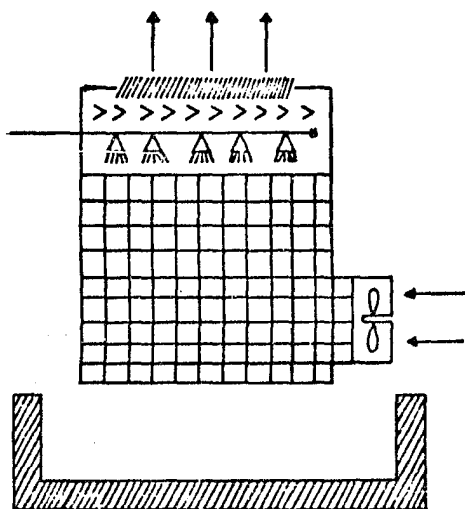
TORRE ATMOSFERICA TIRO NATURAL



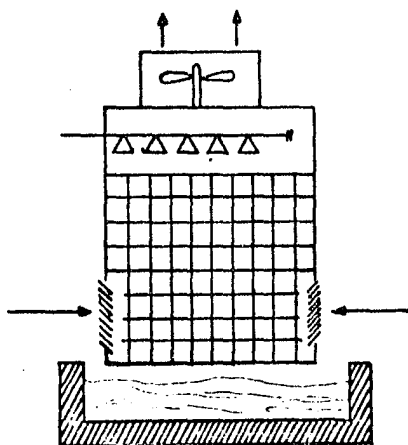
TORRE HIPERBOLICA



TORRE DE TIRO INDUCIDO A FLUJO CRUZADO



TORRE DE TIRO FORZADO A CONTRACORRIENTE



TORRE DE FLUJO INDUCIDO CON TIRO A CONTRACORRIENTE

## CAPITULO III

### CIMENTACION

#### III.1 ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS

El proceso de exploración del terreno de una Obra Civil, dependerá de la importancia y magnitud de la misma, en el cual se definirá el tipo de pruebas que tengan que realizarse para obtener los datos necesarios para el diseño.

El estudio geotécnico deberá iniciarse con la recopilación de datos disponibles sobre topografía, geología y comportamiento de las estructuras construídas en la zona. En este reconocimiento además se emplearán fotografías aéreas, planos topográficos, cartas geológicas, así como datos estratigráficos y edafológicos. De los datos obtenidos anteriormente se hará una inspección visual, donde el ingeniero identificará las estructuras geológicas, localizará fallas, fisuras y rellenos; clasificará las rocas y los suelos; interpretará el proceso de formación de los suelos y recabará información sobre sismología y clima de la región.

Una vez llevado a cabo el reconocimiento superficial del lugar y la exploración preliminar se procede a la exploración detallada incluyendo el muestreo. Esta última fase del programa de exploración, permitirá conocer la estratigrafía y propiedades del suelo, con los cuales el proyectista diseñará la cimentación de la estructura referida. En el presente estudio se realizaron pruebas de penetración estándar y muestreo inalterado.

La prueba de penetración estándar da resultados satisfactorios en arenas de gramo medio a grueso; también se emplea en arenas finas y suelos limosos y arcillosos, aunque su confiabilidad es menor. Su utilización no es conveniente en suelos con gravas. Con esta técnica se rescatan muestras alteradas de los suelos y con el número de golpes con que se hince el penetrómetro, indirectamente se mide la resistencia al corte del suelo. Esta prueba se utiliza en la etapa de exploración preliminar o como complemento de exploraciones definitivas. Las muestras obtenidas se utilizan en el laboratorio para identificar el tipo de suelo a que corresponden y realizar pruebas mecánicas en especímenes compactados.

La prueba mencionada utiliza un penetrómetro estándar que consiste en un tubo muestreador que se hince a percusión. El equipo utilizable consiste en un malacate ligero y tuberías de perforación.

Características: El penetrómetro estándar cuenta con una zapata que es de acero endurecido y debe sustituirse cuando pierda su filo. El tubo intermedio puede ser partido o entero, en cuyo caso se identifica como tubo liso, y debe tener las mismas dimensiones. La válvula de la cabeza permite la salida del azolve durante el proceso de hincado y evita que la muestra salga del penetrómetro durante la extracción.

El equipo de hincado consta de una masa golpeadora de acero de 64 kg. guiada por una barra de 19mm de diámetro. El diámetro de la masa golpeadora es generalmente de 1.5 cm.

Procedimiento de operación: El penetrómetro se hince en el fon

do de una perforación hecha con el procedimiento y equipo que aseguren el mínimo de azolves en el fondo y la estabilidad de las paredes de la perforación. Se pueda emplear ademe metálico en suelos pocos estables o bien recurrir al uso de lodos de perforación. El diámetro mínimo de perforación es de 7.5 cm.

La prueba de penetración consiste en hincar el penetrómetro estándar 45 cm empleando una masa de golpeo de 64 kg. con caída libre de  $75 \pm 1$  cm, contando el número de golpes para 3 segmentos de 15 cm se define la resistencia a la penetración como el número de golpes en los últimos 30 cm, si el penetrómetro no se puede hincar los 45 cm la prueba se suspende cuando se han alcanzado 100 golpes y por extrapolación se deduce el número de golpes N. La intención de no considerar los primeros 15 cm es evitar la zona de alteración que se produce por la perforación. El control de la profundidad de hincado se hace marcando señales en las barras de perforación con referencia a un punto fijo de la masa metálica de 64 kg. se levanta con un cable de manila de 19 mm y un malacate de fricción, cuidando que el cable sólo de una vuelta en el malacate, para evitar que frene la caída de la masa.

Una vez hincado el penetrómetro los 45cm, se sube a la superficie y se extrae la muestra de él. La muestra se debe clasificar cuidadosamente de acuerdo con el criterio de campo del sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).

Esta prueba debe realizarse en cada estrato significativo; cuando el espesor de este es considerable deberán hacerse varias determinaciones.

#### Muestreo inalterado:

- a) Tubo de pared delgada (Shelby).- El tubo de pared delgada se hinc a presión en el suelo para obtener muestras inalteradas de suelos finos blandos semiduros. Este muestreador está constituido por un tubo metálico, montado en una cabeza que lo une a la columna de barras con que se hinc a, aplicando presión desde la superficie. El tubo es usual

mente de 7.5 ó 10 cm. de diámetro exterior con un espesor máximo de pared de 1.5 mm y longitud generalmente de 90cm. La cabeza tiene perforaciones laterales para aliviar la presión dentro del muestreador y una válvula para proteger a la muestra de las presiones hidrodinámicas que se generen al extraerlo.

- b) Muestreador Denison.- El muestreador consiste en dos tubos concéntricos; en el interior que se hince a presión, se rescata la muestra de suelo ( que pueden ser inalteradas, de arcillas duras, limos compactos y limos cementados con pocas gravas), mientras que el exterior, con la braca de corte en su extremo, gira y corta el suelo del derredor. Para operar este muestreador se requiere fluido de perforación, que se hace circular entre ambos tubos.

Con las muestras obtenidas tanto del tubo Shelby como del muestreador Denison, se utilizan en el laboratorio para identificar el tipo de suelo al que corresponden y realizar pruebas índices y mecánicas.

Las siguientes figuras muestran los métodos antes descritos.

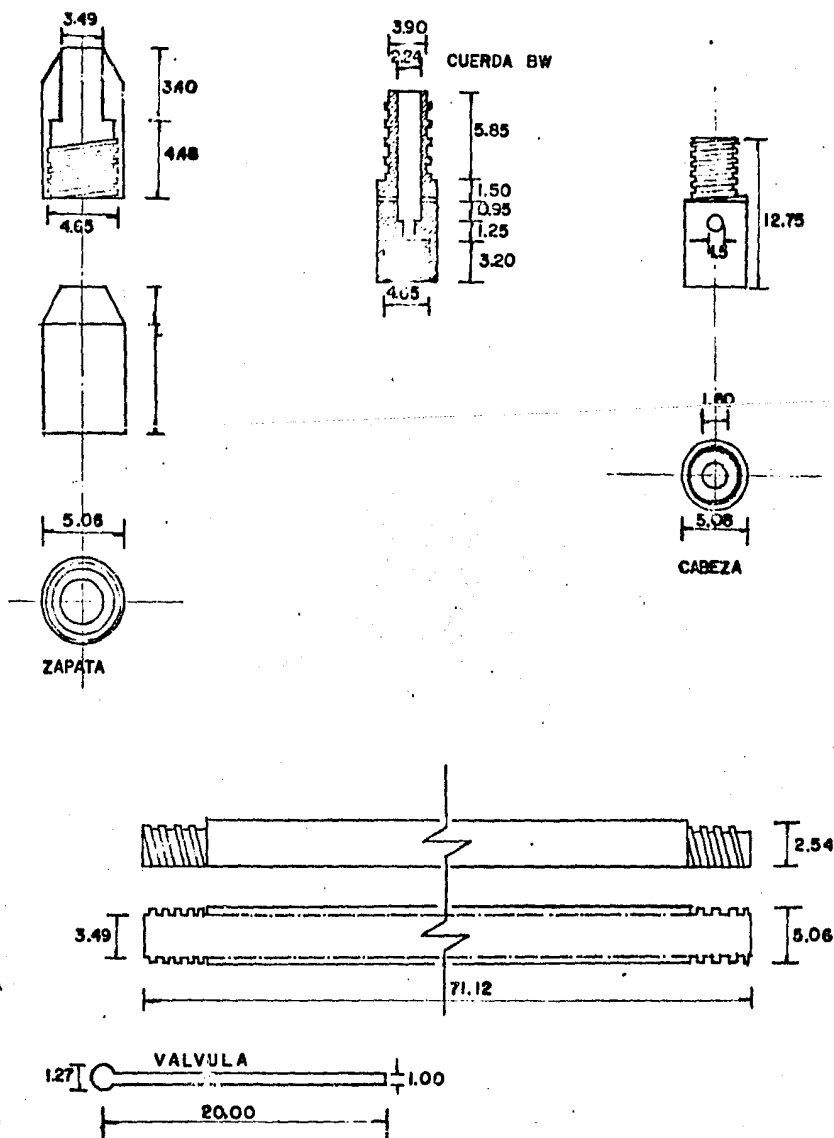


Fig. 1 **PENETROMETRO ESTANDAR**

ACOTACIONES EN Cms.



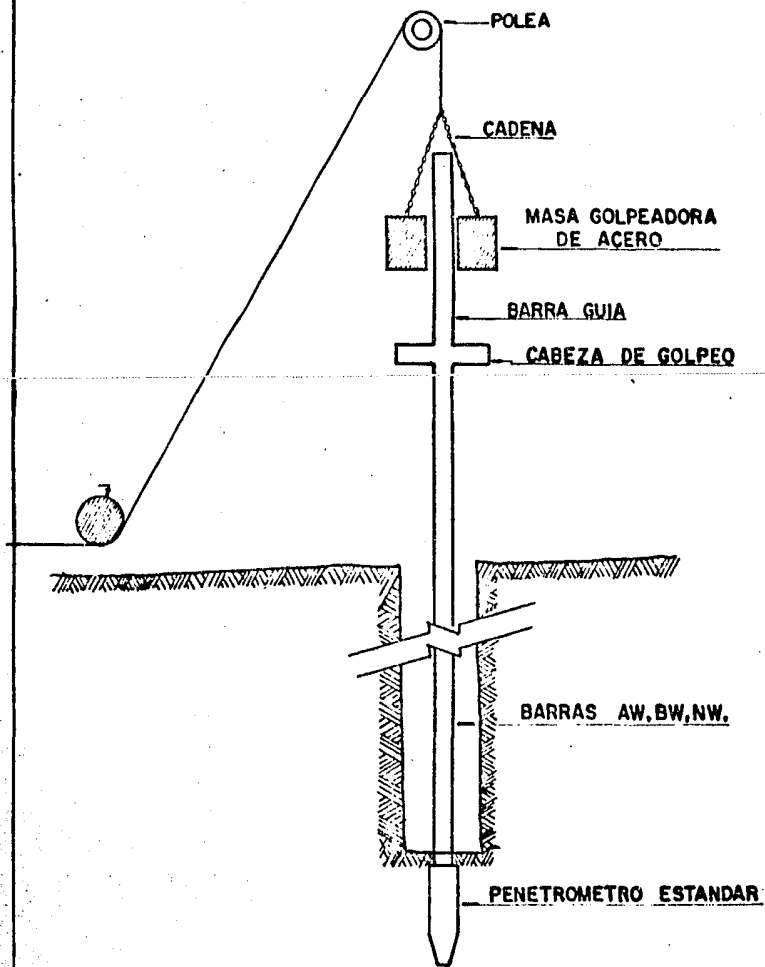


Fig. 2 PRUEBA DE PENETRACION ESTANDAR

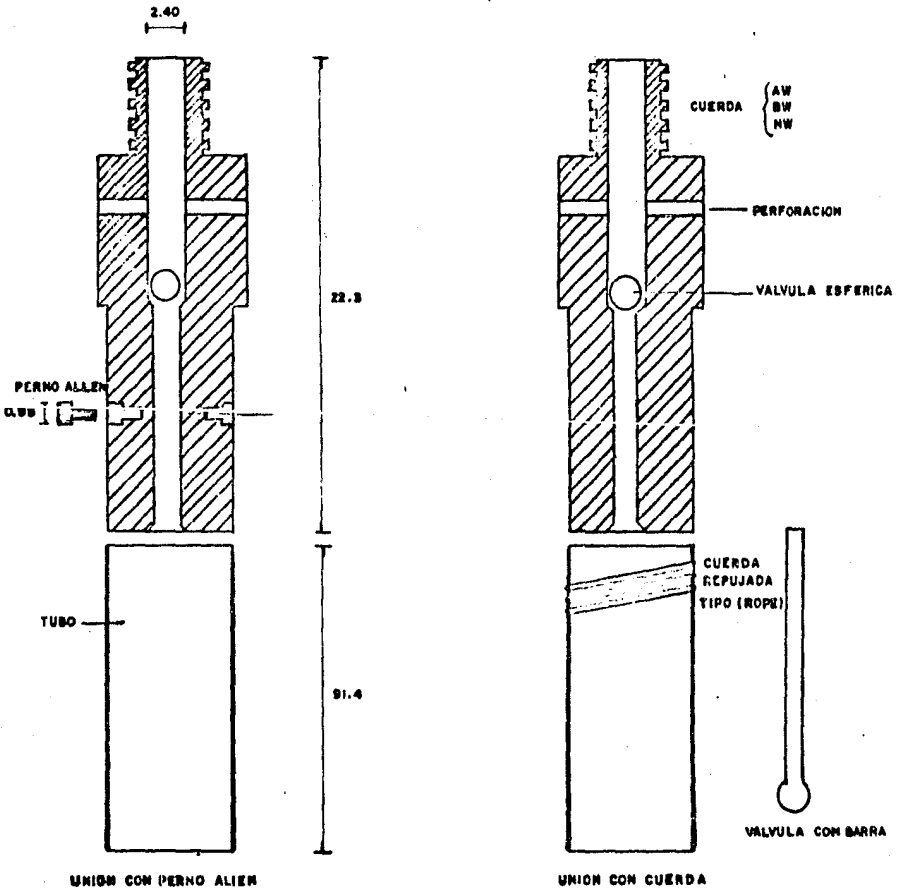


Fig. 3. TUBO DE PARED DELGADA

## III.2

## EXPLORACION DEL SUBSUELO

Las exploraciones del subsuelo se encuentran localizadas en una fracción de terreno muy próximas a la torre de enfriamiento. La distribución de sondeos es irregular, constando estos de penetración estándar (SP) y muestreo inalterado (SM).

La siguiente tabla resume la localización del sondeo, elevación del brocal y longitud de los sondeos, anotándose también la profundidad del nivel freático.

Sondeo	Coordenadas		Elevación del brocal (m)	Longitud del Sondeo (m)	Profundidad del N.F. (m)
	N	E			
SP-4164	2455	2150	19.45	24.85	1.90
SM-4170	2455	2410	14.12	22.69	2.15
SM-4249	2510	2380	11.96	19.60	0.00

El subsuelo explorado esta formado por tres estratos principales, uno de los cuales, por sus propiedades se subdivide en tres partes. La descripción de los estratos se resume a continuación.

Estrato 1.- Arcilla con poca arena fina, CH, de consistencia media a firme, color anaranjado con manchas grises y amarillentas. Propiedades:

E 1.2 a 6.6m (Espesor del estrato)

N	5 a 19 golpes ( Resistencia a la penetración)
W	20 a 43% ( Contenido de agua)
W <sub>L</sub>	53 a 75% ( Límite líquido)
W <sub>p</sub>	25 a 30% ( Límite plástico)
F	60 a 90% ( Contenido de finos)
S <sub>s</sub>	2.62 a 2.73 ( Peso específico relativo)
e	0.75 a 1.20 ( Relación de vacíos)
$\gamma'$	1.75 a 1.93 t/m <sup>3</sup> ( Peso volumétrico)
q <sub>a</sub>	4.20 a 36.60 <sup>t</sup> /m <sup>2</sup> ( Resistencia a la compresión simple)

Estrato 2.- Arcilla con arena fina, CL y CH, con capas intercaladas de suelos limo-arenosos y areno-limosos color café claro y café amarillento. La consistencia de la arcilla aumenta con la profundidad de muy blanda a dura.

Estrato 2a.- Propiedades:

E	3.0 a 11.2 m
N	3 a 21 golpes
W	28 a 56%
W <sub>L</sub>	41 a 68%
W <sub>p</sub>	27 a 37%

F	65 a 95%
S <sub>s</sub>	2.57 a 2.70
e	0.65 a 1.31
γ	1.70 a 2.00 t/m <sup>3</sup>
q <sub>u</sub>	4.9 a 18.90 t/m <sup>2</sup>
c <sub>Q</sub>	8.5 a 15.6 t/m <sup>2</sup> ( Resistencia al corte en compresión triaxial no drenada).

## Estrato 2b.

## Propiedades:

E	0.8 a 10.5 m
N	11 a 31 golpes
W	25 a 51 %
WL	28 a 67 %
WP	25 a 32 %
F	58 a 93 %
S <sub>s</sub>	2.58 a 2.69
e	0.92 a 1.38
γ	1.67 a 1.85 T/M <sup>3</sup>
q <sub>u</sub>	10.2 a 23.9 T/M <sup>2</sup>
c <sub>Q</sub>	6.8 a 12.4 T/M <sup>2</sup>

## Estrato 2c.

Arcilla muy dura, CL, color café claro con arena fina y fósiles marinos aislados, intercalados de suelos limo-arenosos y arenolimosos. Propiedades:

E	3.3 a 7.9 m
N	Mayor que 50 golpes
W	23 a 42 %
W <sub>L</sub>	37 a 56 %
W <sub>p</sub>	26 a 39 %
F	55 a 93 %
S <sub>s</sub>	2.58 a 2.68
e	0.50 a 0.98
γ	1.70 a 2.20 T/M <sup>3</sup>
q <sub>u</sub>	10.0 a 117.0 T/M <sup>2</sup>

$C_Q$  9.0 a 61.0 T/m<sup>2</sup>

**Estrato 3.-** Suelos arcillosos y limosos muy duros, de color gris, con arena fina y fósiles marinos. Propiedades:

E 3.0 a 10.0m

N Mucho mayor a 50 golpes

W 27 a 38%

$M_L$  39 a 64%

$W_p$  25 a 30%

F 60 a 100 %

$S_s$  2.60 a 2.74

e 0.67 a 0.93

$\gamma$  1.8 a 2.1 T/m<sup>2</sup>

$q_u$  11.8 a 291 T/m<sup>2</sup>

$C_Q$  24.5 a 100.0 T/m<sup>2</sup>

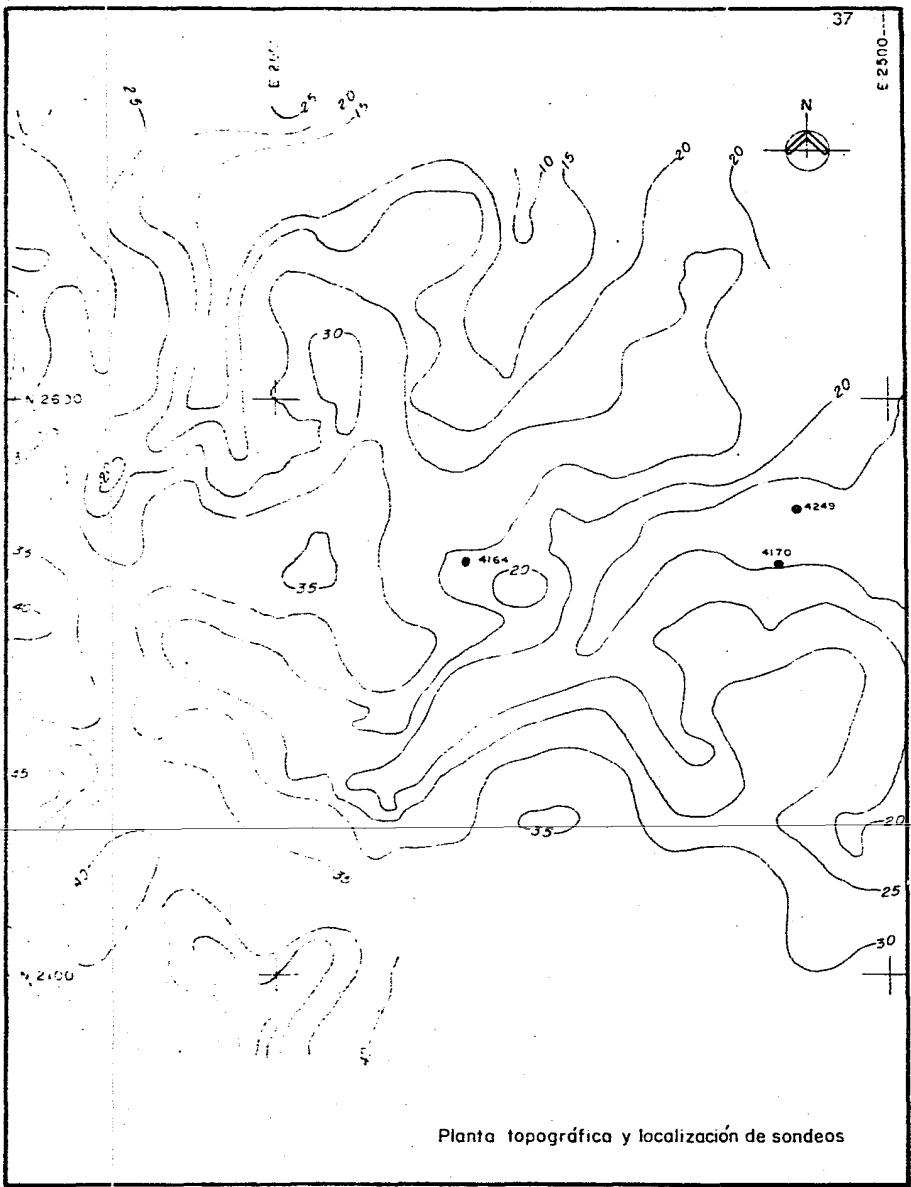
La tabla siguiente muestra la elevación del horizonte superior y espesor de los estratos en los sondeos realizados.

Sondeo No.	1		2a		2b		2c		3	
	HS	E	HS	E	HS	E	HS	E	HS	E
SP-4164	19.45	5.5	13.95	4.5	9.45	1.0	8.45	7.0	- 1.45	-
SM-4170	14.12	2.0	12.12	8.0	-	-	4.12	5.5	- 1.38	-
SM-4249	11.96	6.0	5.96	3.4	-	-	2.56	4.0	- 1.44	-

HS Elevación del horizonte superior

E Espesor del estrato

Nota: Las propiedades de los estratos están determinadas a partir de 8 sondeos de muestra inalterado y 3 de penetración estándar. Para fines del presente trabajo, se consideraran únicamente 3 sondeos.



Planta topográfica y localización de sondeos



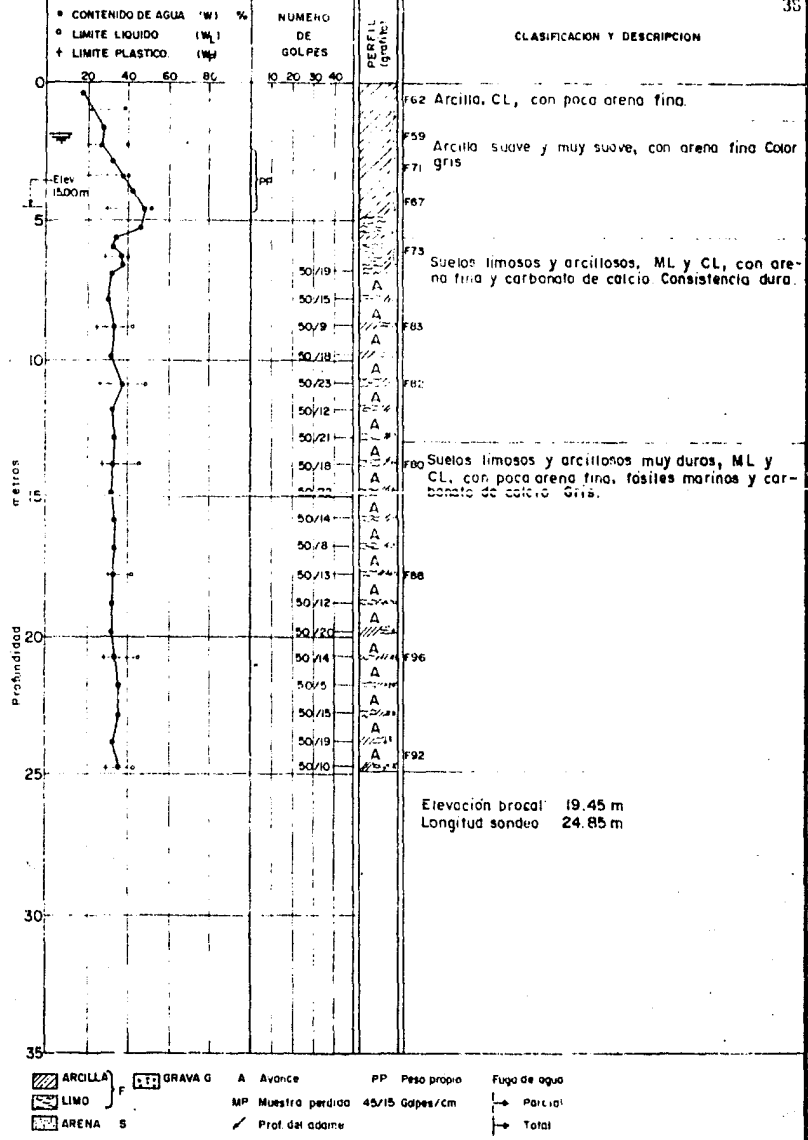


Fig. 2 Estratigrafía y propiedades del subsuelo en el sondeo SP-4164

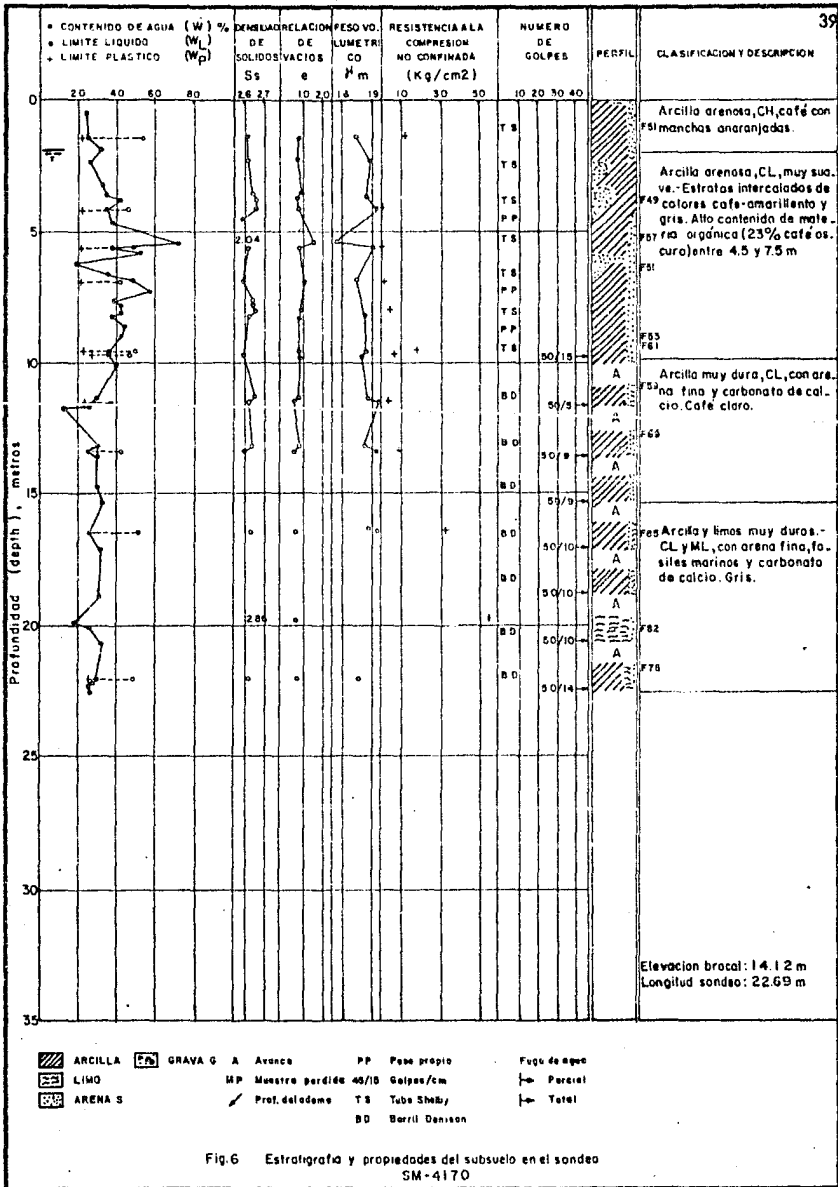
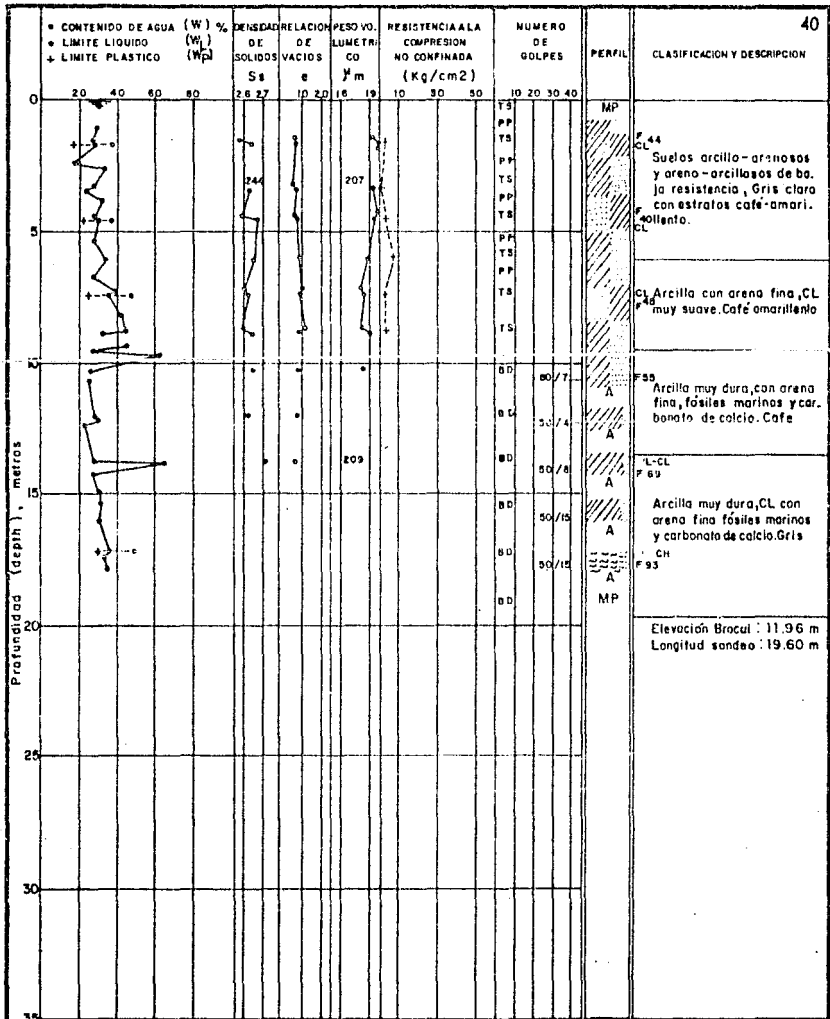


Fig.6 Estratigrafía y propiedades del subsuelo en el sondeo SM-4170

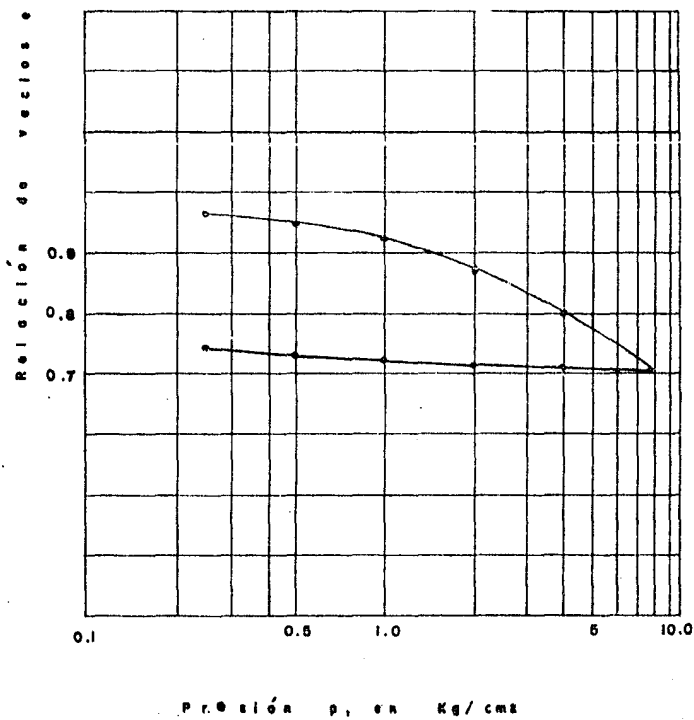


Elevación Brocal : 11.96 m  
 Longitud sondeo : 19.60 m

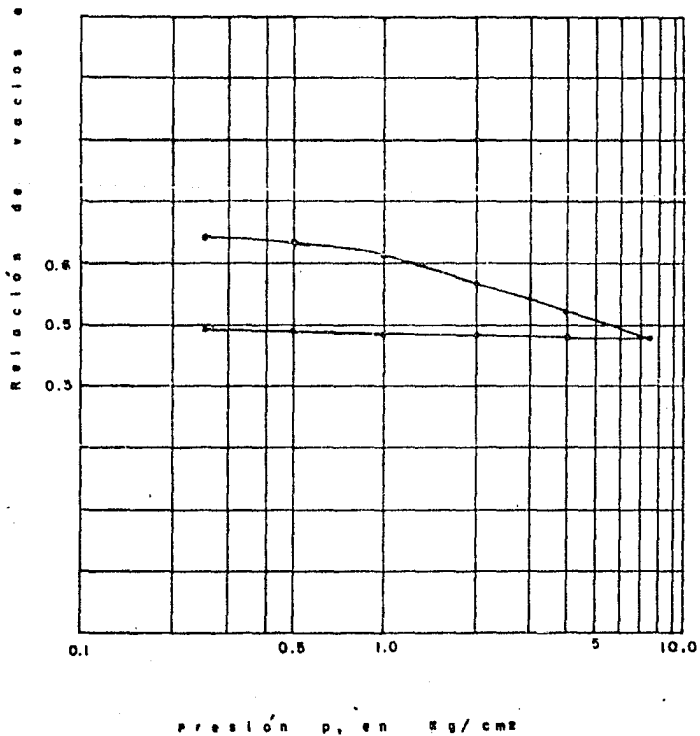
- ARCILLA    GRAVA Ø    A    Avance    PP    Paso propio    Fuga de agua
- LIMO    MP    Muestra perdida 48/35    Galpas/cm    →    Parcial
- ARENA Ø    Prof. del edema    TS    Tubo Shelby    →    Total
- BD    Berrill Denison

Fig. 9 Estratigrafía y propiedades del subsuelo en el sondeo SM-4249

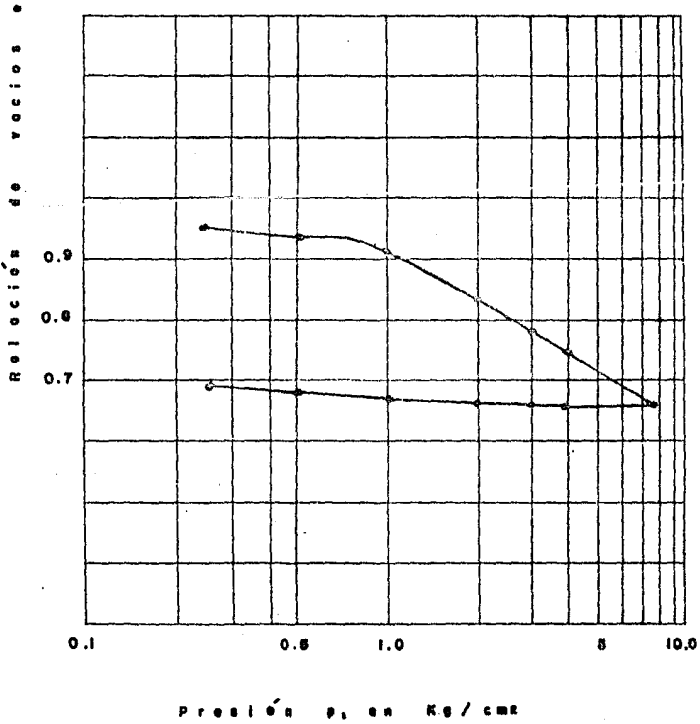
SONDEO	PROF.(m)	S <sub>t</sub>	w <sub>l</sub> (%)	e <sub>l</sub>	G <sub>l</sub> (%)
SM-4249	6.31	2.60	39	0.98	100



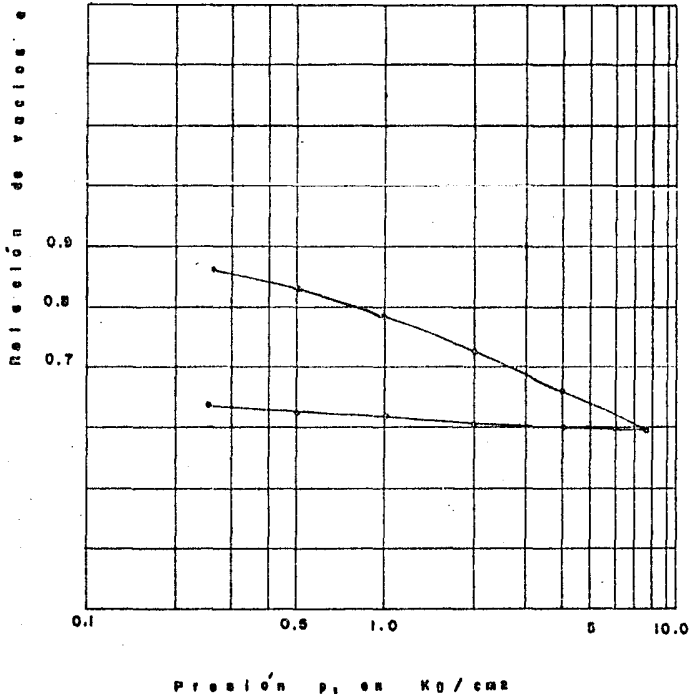
SONDEO	PROF.m	ss.	WI (%)	θ <sub>1</sub>	θ <sub>1</sub> (%)
SM-4249	4.55	2.59	28	0.68	100



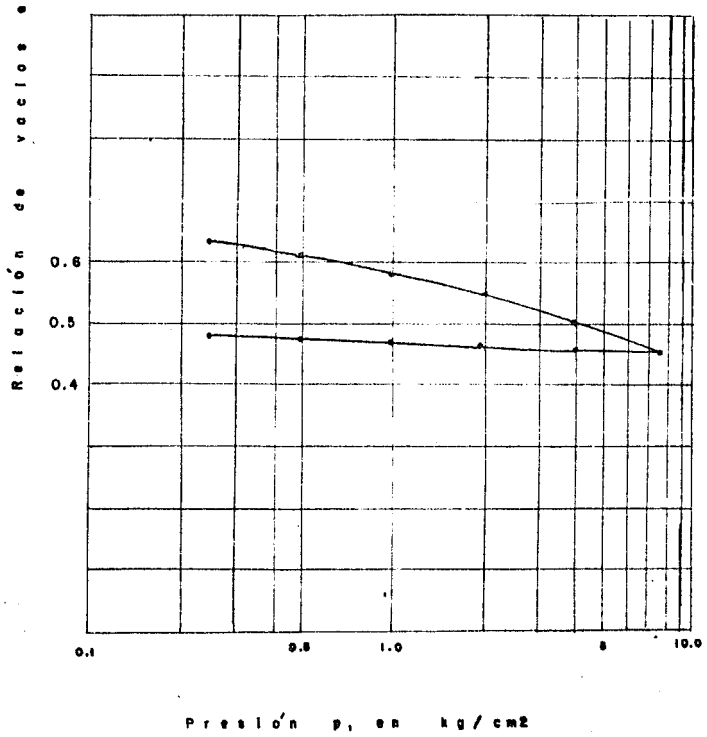
SONDEO	PROF(m)	S <sub>u</sub>	W <sub>i</sub> (%)	e <sub>i</sub>	σ <sub>i</sub> (%)
SM-417D	3.65	2.65	34.5	0.804	100



SONDEO	PROF.(m)	S s	Wl (%)	sl	Gl (%)
S M-4170	9.98	2.68	30.0	0.967	100



SONDEO	PROF.(m)	S <sub>u</sub>	W <sub>i</sub> (%)	e <sub>i</sub>	G <sub>i</sub> (%)
SM- 4249	0.62	2.57	27	0.67	100





## III.3

## ALTERNATIVAS DE DISEÑO

Los tipos más comunes de cimentaciones son las zapatas corridas y aisladas (cimentación somera), las losas o cajones (cimentación compensada) y los pilotes y pilas de fricción o punta (cimentación profunda). Las zapatas corridas son aquellas en que su longitud es mucho mayor que su ancho, y se emplean cuando se necesita de un área mayor para la distribución de presiones sobre el suelo; soportando varias columnas o inclusive muros, ya sea de concreto reforzado o de mampostería. Las zapatas aisladas son estructuras que soportan las cargas que transmiten las columnas para después lograr una presión adecuada sobre el terreno. Este tipo de cimentación debe desplantarse hasta a una profundidad en la que el suelo se encuentre libre de poros y cavidades ocasionados por plantas y animales.

La losa de cimentación resulta conveniente cuando el área necesaria para transmitir la carga de la estructura al suelo, sobrepasa el 50 por ciento del área total de la cimentación. En el caso de terrenos de cimentación compresible, es apropiado desplantar la losa a cierta profundidad y cimentar la superestructura sobre un cajón para reducir los asentamientos, puesto que se compensa la carga transmitida con el volumen de suelo desalojado.

Las cimentaciones profundas se utilizan cuando la resistencia del terreno superficial es bajo y se requiera buscar terrenos de apoyo más resistentes a mayores profundidades. Otra de las funciones de este tipo de cimentación es la de reducir los asentamientos bajo condiciones de trabajo. Dependiendo principalmente de las características del subsuelo, se podrán emplear diferentes tipos de pilotes y pilas. Los pilotes a su vez, se dividen en: a) pilotes de fricción; son aquellos que transmiten la carga al suelo principalmente por fricción desarrollada a lo largo de su superficie lateral de contacto con el suelo, b) pilotes de punta; son aquellos que transmiten la carga al estrato resistente por medio de su punta. Los pilotes pueden ser de sección cuadrada o circular, cuyo diámetro varía de 30 a 60 cm, se fabrican de concreto reforzado o acero. Las pilas son muy similares a los pilotes, aunque más cortas y de un diámetro que varía de 0.80 a 2.00 m.

### III.4 DISEÑO DE LA CIMENTACION

La alternativa de diseño propuesta es una cimentación parcialmente compensada. El nivel de desplante estará a 2.00m de profundidad. Las dimensiones de la estructura serán de 20m de ancho y 150m de largo. Las cargas permanentes estimadas de la torre de enfriamiento son de 5.00 T/m<sup>2</sup>. La carga viva se consideró como la presión en el fondo del tanque, correspondiente al tirante máximo, una vez que la estructura se encuentre en operación siendo de 1.40 T/m<sup>2</sup>.

La descarga que por excavación se tiene a 2.00 m de profundidad es de  $\gamma \times h = 3.86 \text{ T/m}^2$ , siendo  $\gamma$  (peso volumétrico del suelo) igual a 1.93 T/m<sup>3</sup> en el estrato en que se hace la excavación.

Para el cálculo de los asentamientos diferidos debidos al incremento neto de carga en el contacto cimentación - suelo, se consideran la combinación de cargas permanentes y cargas vivas ( 6.40 T/m<sup>2</sup>) y la descarga por excavación; resultando un incremento neto de carga de :

$$6.40 - 3.86 = 2.54 \text{ T/ m}^2.$$

La estratigrafía correspondiente entre los sondeos SM-4170 y SM-4249 se muestra en las gráficas siguientes, así como también el perfil estratigráfico del subsuelo considerado para fines de diseño, obtenido a partir de la estratigrafía de los sondeos mencionados.

La cimentación propuesta de la estructura deberá cumplir que para ciertas condiciones de carga sus asentamientos no deban exceder cierto valor permisible máximo que origine daños posteriores a la estructura, que pongan en peligro su funcionamiento. Por lo anteriormente señalado es de vital importancia que se hagan estudios precisos en cuanto al lugar en donde se desplante la estructura.

Para el presente trabajo se revisarán los valores de los asentamientos en función a un tipo de cimentación propuesta, a la carga de operación ( carga máxima) que se estime y sobre todo al tipo de suelo ( observando y analizando correctamente) que se tenga en el lugar. Para seguir un orden -

Elev. Prof. SONDEO  
SM-4170  
14.12 0

SONDEO Prof. Elev.  
SM-4249

12.12 2.0

Nivel de piso (Elev.12.00)

0 11.96

Estrato 1

N.A.F.

Nivel de despiante (Elev.10.00)

Estrato 1

6.0 5.96

4.12 10.0

Estrato 2 a

9.40 2.56

-1.38 15.15

Estrato 2 c

13.14 -1.44

-8.57 22.69

Estrato 3

19.60 -7.64

PERFIL LONGITUDINAL DEL SUBSUELO

PROF

N.P.T. (Elev. 12.00)

Estrato 1

 $\gamma = 1.93 \text{ T/M}^3$ arcilla con poca arena  
fina, CH, de consistencia  
media a firme.

O. N.F.A.

Nivel de desplante (Elev. 10.00)

0.62 SM-4249

1.45

Estrato 2 a

 $\gamma = 1.70 \text{ T/M}^3$ arcilla con poca arena  
fina, CH y CL.

6.31 SM-4249

7.15

Estrato 2 c

 $\gamma = 1.80 \text{ T/M}^3$ 

arcilla muy dura CL.

9.98 SM-4170

11.90

Estrato 3

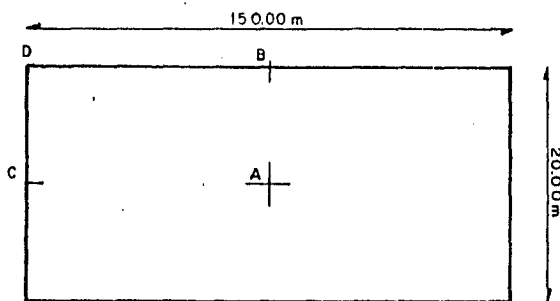
 $\gamma = 1.80 \text{ T/M}^3$ suelo arcilloso y limoso  
muy duro.

18.90

PERFIL ESTRATIGRAFICO

del análisis de los asentamientos, se seguirán los siguientes pasos de cálculo.

- 1.- Una vez obteniendo el perfil estratigráfico del subsuelo se procede a calcular las presiones neutrales, totales y efectivas, a partir del nivel de excavación, dado que ésta se realizó en una gran área, y considerando que el nivel freático se encuentran ese mismo nivel. Los valores de los pesos volumétricos de los diferentes estratos corresponden a un promedio tomado de los resultados obtenidos de los análisis del laboratorio de los diferentes materiales que los componen. Las presiones mencionadas se calcularán en los extremos de los estratos, así como también a las profundidades de donde se tomaron las muestras (inalteradas). Los resultados aparecen en la hoja siguiente.
- 2.- Se calcularán las presiones existentes debido a la carga uniforme de la estructura en las profundidades donde se localizan los sondeos, en los puntos de interés:

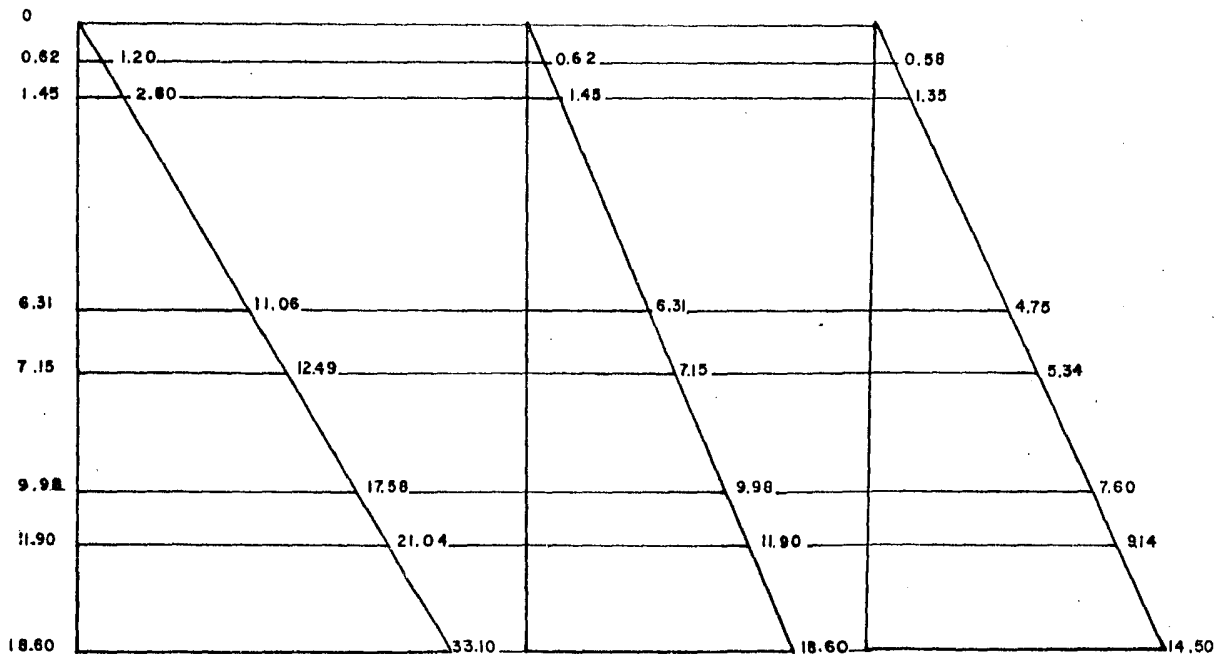


Para tal efecto se utilizará la tabla anexa que muestra los valores de  $\sigma_c / q$  para valores de  $m = a/z$  y  $n = b/z$ ; donde,

Prof. P (T/M2)

U (T/M2)

P (T/M2)



PRESIONES NEUTRALES, TOTALES Y EFECTIVAS

TABLA 1 Presión vertical  $\sigma_z$  bajo la esquina de un rectángulo  $a \times b$  cargado uniformemente con intensidad  $q$  (valores de  $\sigma_z/q$  para valores de  $m=a/z$  y  $n=b/z$ ) (ref 2)

m/n	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	12	14	16	18	20	25	30	40	50	60	80	100	$\infty$	
01	0047	0092	0112	0168	0198	0222	0242	0278	0270	0279	0293	0295	0306	0309	0311	0314	0315	0316	0316	0316	0316	0316	0316	0316
02	0092	0179	0259	0328	0318	0343	0347	0350	0358	0357	0357	0358	0359	0360	0361	0361	0361	0361	0362	0362	0362	0362	0362	0362
03	0132	0259	0374	0474	0359	0362	0368	0371	0376	0374	0382	0385	0387	0388	0389	0389	0390	0390	0390	0390	0390	0390	0390	0390
04	0168	0328	0474	0602	0371	0350	0387	0393	0397	0391	0396	0399	0404	0406	0407	0407	0407	0407	0407	0407	0407	0407	0407	0407
05	0198	0374	0559	0711	0384	0347	0404	0410	0415	0402	0406	0410	0414	0416	0416	0416	0416	0416	0416	0416	0416	0416	0416	0416
06	0222	0435	0629	0801	0394	0369	0427	0434	0439	0431	0435	0439	0443	0445	0445	0445	0445	0445	0445	0445	0445	0445	0445	0445
07	0242	0474	0686	0873	0404	0388	0442	0450	0455	0447	0451	0455	0459	0461	0461	0461	0461	0461	0461	0461	0461	0461	0461	0461
08	0258	0504	0731	0931	0414	0404	0458	0466	0471	0463	0467	0471	0475	0477	0477	0477	0477	0477	0477	0477	0477	0477	0477	0477
09	0270	0528	0766	0977	0422	0411	0466	0474	0479	0471	0475	0479	0483	0485	0485	0485	0485	0485	0485	0485	0485	0485	0485	0485
10	0279	0547	0794	1003	0428	0417	0472	0480	0485	0477	0481	0485	0489	0491	0491	0491	0491	0491	0491	0491	0491	0491	0491	0491
12	0293	0573	0832	1063	0435	0424	0479	0487	0491	0483	0487	0491	0495	0497	0497	0497	0497	0497	0497	0497	0497	0497	0497	0497
14	0301	0589	0856	1094	0438	0428	0483	0491	0495	0487	0491	0495	0499	0501	0501	0501	0501	0501	0501	0501	0501	0501	0501	0501
16	0306	0599	0871	1114	0440	0430	0485	0493	0497	0489	0493	0497	0501	0503	0503	0503	0503	0503	0503	0503	0503	0503	0503	0503
18	0309	0606	0880	1128	0442	0432	0487	0495	0499	0491	0495	0499	0503	0505	0505	0505	0505	0505	0505	0505	0505	0505	0505	0505
2	0031	0061	0087	0134	0135	0153	0168	0181	0191	0199	0212	0226	0226	0229	0235	0236	0237	0237	0237	0237	0237	0237	0237	0237
2.5	0031	0061	0089	0145	0136	0154	0170	0182	0193	0204	0215	0226	0226	0229	0233	0236	0240	0242	0244	0244	0244	0244	0244	0244
3	0031	0061	0089	0150	0136	0155	0161	0184	0194	0204	0216	0226	0226	0229	0235	0237	0242	0243	0245	0246	0246	0246	0246	0246
4	0031	0061	0090	0153	0137	0156	0171	0184	0195	0204	0217	0226	0226	0229	0236	0241	0244	0245	0247	0247	0248	0248	0248	0248
5	0031	0062	0090	0154	0137	0156	0171	0184	0195	0204	0217	0226	0226	0229	0236	0241	0244	0245	0247	0248	0248	0249	0249	0249
6	0031	0062	0090	0154	0137	0156	0171	0185	0195	0205	0217	0226	0226	0229	0237	0244	0246	0248	0249	0249	0249	0249	0249	0249
8	0031	0062	0090	0154	0137	0156	0172	0185	0195	0206	0217	0226	0226	0229	0238	0244	0246	0248	0249	0249	0249	0249	0249	0249
10	0031	0062	0090	0154	0137	0156	0172	0185	0195	0206	0217	0226	0226	0229	0238	0244	0246	0248	0249	0249	0249	0249	0249	0249
$\infty$	0031	0062	0090	0154	0137	0156	0172	0185	0195	0206	0217	0226	0226	0229	0239	0244	0246	0248	0249	0249	0249	0249	0249	0250

$\gamma_z$  es la presión vertical bajo la esquina de un rectángulo  $a \times b$  cargado uniformemente con intensidad  $q$ ;  $m$  y  $n$  son parámetros y  $z$  la profundidad en la cual se quieren conocer las presiones.

La carga  $q$  será la diferencia entre las cargas permanentes y la descarga por excavación, siendo igual a 2.54 T/m<sup>2</sup>.

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos, así como la secuela de cálculo.

Pta	Prof. Z(m)	X(m)	Y(m)	$m=x/z$	$n=y/z$	$W_0$	$IW_0$	$\gamma_z$ (T/m <sup>2</sup> )
A	0.62	75	10	120.97	16.13	0.2500	1.0000	2.54
	6.31	75	10	11.89	1.58	0.2320	0.9280	2.36
	9.98	75	10	7.52	1.00	0.2046	0.8184	2.08
B	0.62	75	20	120.97	32.26	0.2500	0.5000	1.27
	6.31	75	20	11.89	3.17	0.2468	0.4936	1.25
	9.98	75	20	7.52	2.00	0.2398	0.4796	1.22
C	0.62	150	10	241.94	16.13	0.2500	0.5000	1.27
	6.31	150	10	23.77	1.58	0.2320	0.464	1.18
	9.98	150	10	15.03	1.00	0.2046	0.4092	1.04
D	0.62	150	20	241.94	32.26	0.2500	0.2500	0.64
	6.31	150	20	23.77	3.17	0.2468	0.2468	0.63
	9.98	150	20	15.03	2.00	0.2399	0.2399	0.61

- 3.- A continuación se muestra un resumen de las presiones obtenidas en las profundidades deseadas en los puntos de interés.
- 4.- A partir de las gráficas de curvas de compresibilidad obtenidas en laboratorio, y en función de las presiones efectivas y las presiones debido a la carga uniforme, obtenemos diferentes valores de  $\Delta e$ , (decremento de relación de vacíos). En el eje de las abscisas llevando el valor de  $P_0$  leemos en el eje de las ordenadas un valor de  $e_1$ , luego sumamos  $P_0 + \Delta \bar{p}_a$  (donde  $\Delta \bar{p}_a$  es la presión debido a la carga en el punto de interés ya una determinada profundidad), y leemos otro valor  $e_2$ , la diferencia de  $am$



los valores da como resultado un valor  $\Delta e$ .

La relación de vacíos inicial ( $e_0$ ) es dato del análisis. Teniendo  $\Delta e$ ,  $e_0$  y conociendo el espesor del estrato ( $H$ ) donde se localiza el sondeo, se podrá determinar el asentamiento que ocurre en el punto de interés en el estrato correspondiente. La fórmula utilizada para tal efecto es:

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

Presiones finales bajo la losa

Pto.	Prof. z (m)	Po (T/m <sup>2</sup> )	z(T/m <sup>2</sup> )	P̄(T/m <sup>2</sup> )
A	0.62	0.58	2.54	3.12
	6.31	4.75	2.36	7.11
	9.98	7.60	2.08	9.68
B	0.62	0.58	1.27	1.85
	6.31	4.75	1.25	6.00
	9.98	7.60	1.22	8.82
C	0.62	0.58	1.27	1.85
	6.31	4.75	1.18	5.93
	9.98	7.04	1.04	8.64
D	0.62	0.58	0.64	1.22
	6.31	4.75	0.63	5.38
	9.98	7.60	0.61	8.21

## CALCULO DE ASENTAMIENTOS DIFERIDOS

Prof. unidad del sondeo $\bar{z}$ . (m)	0.62	6.31	9.98
Esfuerzo vertical inicial efectivo $\bar{P}_0$ (T/M <sup>2</sup> )	0.58	4.75	7.60
Decremento de la relación de vacíos $\Delta e_A$	2.54	2.36	2.08
Decremento de la relación de vacíos $\Delta e_B$	1.27	1.25	1.22
Decremento de la relación de vacíos $\Delta e_C$	1.27	1.18	1.04
Decremento de la relación de vacíos $\Delta e_D$	0.64	0.63	0.61
Uno más relación de vacíos inicial (1+ $e_0$ )	1.670	1.980	1.967
Espesor del estrato H (cm)	144	570	475
Deformación $\Delta H_A$ (cm)	2.93	4.61	2.41
Deformación $\Delta H_B$ (cm)	1.72	3.45	1.93
Deformación $\Delta H_C$ (cm)	1.72	2.88	1.21
Deformación $\Delta H_D$ (cm)	1.12	2.02	0.96

$$\Delta H_A = 9.95 \text{ cm.}$$

$$\Delta H_B = 7.1 \text{ cm.}$$

$$\Delta H_C = 5.81 \text{ cm.}$$

$$\Delta H_D = 4.10 \text{ cm.}$$

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

Los resultados obtenidos del análisis de asentamientos diferenciados, debidos al incremento neto de carga en el contacto cimentación - suelo se indican a continuación, con su correspondiente relación asentamiento - claro entre los diferentes puntos.

Punto	$\Delta H$ (cm)
A	9.95
B	7.10
C	5.81
D	4.10

Puntos	longitud (cm)	Asentamiento - claro ( cm )
A - B	1000	$9.95 - 7.10 / 1000 = 0.00285$
A - C	7500	$9.95 - 5.81 / 7500 = 0.000552$
B - D	7500	$7.10 - 4.10 / 7500 = 0.00040$
C - D	1000	$5.81 - 4.10 / 1000 = 0.00171$

TABLA 1. LÍMITES MÁXIMOS PARA MOVIMIENTOS Y DEFORMACIONES ORIGINADOS EN LA CIMENTACION

a) Movimientos verticales ( hundimiento o emersión )

<u>Concepto</u>	<u>Límite</u>
Valor medido en el predio	30 cm
Velocidad del componente diferido	1 cm/semana

b) Inclinación media

<u>Tipo de daño</u>	<u>Límite</u>	<u>Observaciones</u>
Inclinación visible	100/ (100+3h) por ciento	h=altura de la construcción, en m.
Mal funcionamiento de grúas viajeras	0.3 por ciento	En dirección longitudinal.

c) Deformaciones diferenciales en la propia estructura y sus vecinas

<u>Tipo de estructura o elemento</u>	<u>Variable que se limita</u>	<u>Límite Máximo</u>
Marcos de acero	Relación entre el asentamiento diferencial y el claro	0.006
Marcos de concreto	Relación entre el asentamiento diferencial y el claro	0.004
Muros de carga de ladrillo recocado o bloque de cemento.	Relación entre el asentamiento diferencial y el claro	0.002
Muros con acabados muy sensibles, como yeso, - piedra ornamental, etc.	Relación entre el asentamiento diferencial y el claro.	0.001 Se tolerarán valores mayores en la medida en que la deformación ocurra antes de colocar los acabados o estos se encuentra desligados de los muros.
Paneles móviles o muros con acabados poco sensibles, como mampostería con juntas secas	Relación entre el asentamiento diferencial y el claro.	0.004

## CAPITULO IV

### PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

Una cimentación se considera satisfactoria, si no transmite al subsuelo presiones que excedan su capacidad de carga o que provoquen excesivos asentamientos. La construcción de ella puede provocar asentamientos excesivos en las estructuras vecinas. Por lo tanto, la elaboración de un buen procedimiento de construcción de la cimentación deberá considerarse como un factor importante y en ocasiones decisivo en la solución final de cimentación que se adopte.

La torre de enfriamiento está cimentada por debajo de la superficie del terreno, lo cual implica realizar excavaciones cuya profundidad será de 1.85 m. Las excavaciones se realizarán en un espacio suficiente de tal forma que permitirán desarrollar los taludes con la inclinación que se obtenga de los análisis. Si en un momento dado no se tiene el espacio suficiente, y se requiera que la excavación deba realizarse verticalmente, se recurrirá al uso de

un ademe o ataguía. El ademe puede ser de madera, de acero o de una combinación de ambos. El procedimiento que se sigue es, en general, el siguiente: En primer lugar, se procede al hincado de la ataguía siguiendo el contorno de la excavación a efectuar y hasta una profundidad mayor del fondo de la misma y tan pronto como la excavación va avanzando se van colocando contra la ataguía, puntales de acero o de madera, colocados transversalmente a la excavación y apoyados en largueras longitudinales llamados "madriñal". El proceso continúa hasta que la excavación llegue al nivel de desplante.

Llegado a este nivel, se coloca una plantilla de 5 cm de espesor de concreto simple con una resistencia de proyecto de 100 kg/cm<sup>2</sup>. Después se procede al armado de la losa de cimentación y de los muros de contención, para luego colarlos utilizando concreto, con una resistencia de 250 kg/cm<sup>2</sup>.

Si se tiene problemas, con respecto al ancho de excavación, que sea demasiado grande para permitir el uso de puntales entre las paredes, el procedimiento que se sigue usualmente es excavar la parte central del área hasta su profundidad de desplante y colar la parte de cimentación correspondiente, de tal forma que la parte construída sirva como elemento de soporte para los puntales.

El procedimiento de "Muro Colado in Situ" no se ha considerado, puesto que en general en las inmediaciones de las torres de enfriamiento, no existen estructuras que rijan el uso de este procedimiento.

Un factor que debe tomarse en cuenta y que es de suma importancia, es la expansión del estrato afectado por la excavación y cuya magnitud dependerá del área excavada, de la profundidad, del coeficiente de expansibilidad del suelo y del tiempo que la excavación dure abierta.

El fenómeno de expansión durante la excavación presenta dos etapas, la expansión relativamente rápida que se verifica a la misma velocidad que el avance de la excavación y, la segunda, más lenta que va acompañada

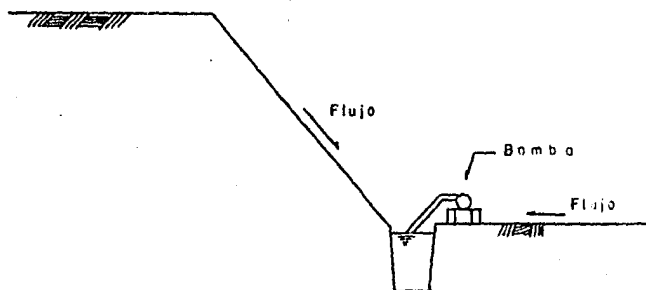
por un incremento en el contenido de agua de la arcilla y es un proceso que se prolonga con el tiempo, debido a lo cual, es importante mantener el menor tiempo posible la excavación abierta.

La realización de una excavación por etapas disminuye importante-mente el valor de las expansiones debido a que, como se mencionó anteriormente, las dimensiones del área excavada influyen grandemente en la magnitud de las expansiones.

También es importante que una vez que se llegue a la profundidad de desplante, se proceda de inmediato al colado de la losa de cimentación en el mínimo tiempo posible, para así disminuir grandemente el valor de las expansiones totales.

Otro factor que contribuya importante-mente a controlar las expansiones durante la excavación cuando ésta se realiza bajo el nivel freático, es el abatimiento del mismo, debido a que el bombeo de agua induce al subsuelo una sobre-carga, al cambiar el estado del mismo de sumergido a saturado. Esta sobrecarga contra-resta la descarga que sufre la excavación debido a la remoción del suelo. En nuestro caso, no se tendrán problemas de este tipo, ya que en los 3 sondeos efectuados se localizó el nivel freático a una profundidad mayor de 2 metros, estando por tanto el nivel de desplante de la estructura, por arriba del nivel freático.

Si dentro del programa de obra de la torre de enfriamiento, está considerada la construcción de la cimentación en época de lluvias se tendrán problemas con la excavación, por lo que se hace necesario que una vez hecha la excavación se hagan zanjas al pie de taludes para que éstas canalicen el flujo de agua hacia cárcamas, por medio de las cuales, se puede extraer el agua utilizando bombas autocebantes. La siguiente figura muestra la forma de bombeo empleada.



Después de que se hubiera colado, tanto la losa de cimentación como los muros de contención, será necesario rellenar espacios adyacentes a la cimentación, por lo que es importante un control adecuado en la compactación de estos rellenos mediante pruebas in situ (calas volumétricas). Es conveniente, además, con objeto de prevenir asentamientos en estos rellenos, que los espesores de las capas por compactar no excedan de 30 cm, que el material de relleno no sea cohesivo, que se utilicen en el campo compactadores adecuados y que se usen pisones manuales en zonas difíciles.

Con el objeto de garantizar el buen comportamiento de la cimentación, es de suma importancia que durante su construcción y después de ella, se efectúe un control adecuado de todos los factores que intervienen en su comportamiento, mediante el uso e instalación de algunos instrumentos que van desde los bancos de nivel hasta las celdas de carga a inclinómetros. Se recomienda instalar bancos de nivel en el fondo de la excavación con objeto de medir las expansiones y/o asentamientos que ocurran antes, durante y después de la excavación.

Es importante que la instalación de estos bancos se efectúe antes de iniciar cualquier excavación, con objeto de obtener una historia fidedigna



de los movimientos del subsuelo. Para instalar estos bancos pueden excavarse pozos de pequeño diámetro, hasta la profundidad de proyecto y colocar en su punto inferior un tapón de concreto con una varilla. Es conveniente que la frecuencia de las lecturas de estos bancos sea de una vez por día antes de la excavación, dos veces por día durante la excavación, y una vez por día después de la excavación. Se elaborarán, con los datos obtenidos, gráficas movimientos-tiempo

Por otro lado, también es conveniente la instalación de bancos de nivel superficiales localizados en lugares cercanos y superficiales a la cimentación. Tanto estos bancos como los mencionados anteriormente, deben medirse tomando como referencia un banco de nivel superficial de cota prefijada alejado cuando menos 200 metros de la cimentación por construir.

Una vez que progrese la construcción de la cimentación es conveniente que los bancos de nivel localizados en el fondo se correlacionen a puntos o bancos de nivel ubicados en columnas y losas ya construídas, a fin de conocer la evolución de los movimientos diferenciales que ocurren. La frecuencia de las lecturas de estos bancos será de una vez por día hasta que se termine la construcción total de la estructura y de una vez por mes después de la terminación.

La construcción de la cimentación está comprendida en la primera etapa del programa de obra de la torre de enfriamiento, la cual también incluye el colado de columnas hasta una altura de 2m. respecto al nivel de piso terminado, el montaje de trabes precoladas del primer nivel y colocación de losas precoladas de concreto armado, las cuales van a funcionar como pasillos.

La segunda etapa comprende la continuación del colado de las columnas hasta un nivel de aproximadamente 6m, montando las trabes correspondientes al segundo nivel, empezando inclusive la colocación de persianas y muros pretolados.

En la tercera etapa se llega al colado de las columnas hasta una

altura de 9 m, montando las traves del tercer nivel.

En la cuarta etapa de construcción se llega al colado final de las columnas, se montan las traves faltantes, se colocan las persianas y muros, exteriores, llegándose hasta la construcción del nivel de piso, sobre el cual se construirán los difusores. Los difusores pueden ser precolocados para después proceder a montarlos o bien colarlos in situ.

#### IV.1 Requisitos de ejecución.

Uno de los puntos que deben cuidarse durante la ejecución de la obra es la cimbra utilizada. Las cimbras deberán construirse conforme a los planos aprobados, en los cuales estarán claramente anotados la localización, dimensiones y niveles.

Como medida de precaución deberán instalarse señales y barreras, para impedir el paso a la zona de colado de personas y vehículos no autorizados; así como andamios, barandales y plataformas para la seguridad del personal. El espesor de las paredes y la rigidez de los moldes deberán ser tales que la cimbra conserve su forma y posición durante su uso. Al mismo tiempo, las formas estarán proyectadas para desmantelarse con facilidad para no dañar el concreto durante su retiro.

En cimbras profundas y estrechas, tales como muros y columnas, se dejarán ventanas en las paredes de la misma para hacer la limpieza previa al vaciado, y para depositar el concreto desde una altura máxima de 2m. Las paredes que vayan a estar en contacto con el concreto se recubrirán con aceite mineral o grasa antes de cada uso, para evitar la adherencia de la mezcla.

Antes de colocar el acero de refuerzo se verificará la localización, niveles y dimensiones de las formas, y antes de colocar el concreto deberán estar limpios de tierra, basura o cualquier material suelto cuya presencia sea accidental y por consiguiente, no tenga ninguna función que desempeñar en la estructura.

El retiro de la cimbra deberá efectuarse hasta que el concreto alcance tal resistencia, cuando menos 48 horas después del vaciado, que no se dañe durante el descimbrado.

Antes del vaciado de la mezcla, se deberá verificar lo siguiente:

- Apoyo suficiente de los soportes verticales, de acuerdo a las condiciones del suelo.

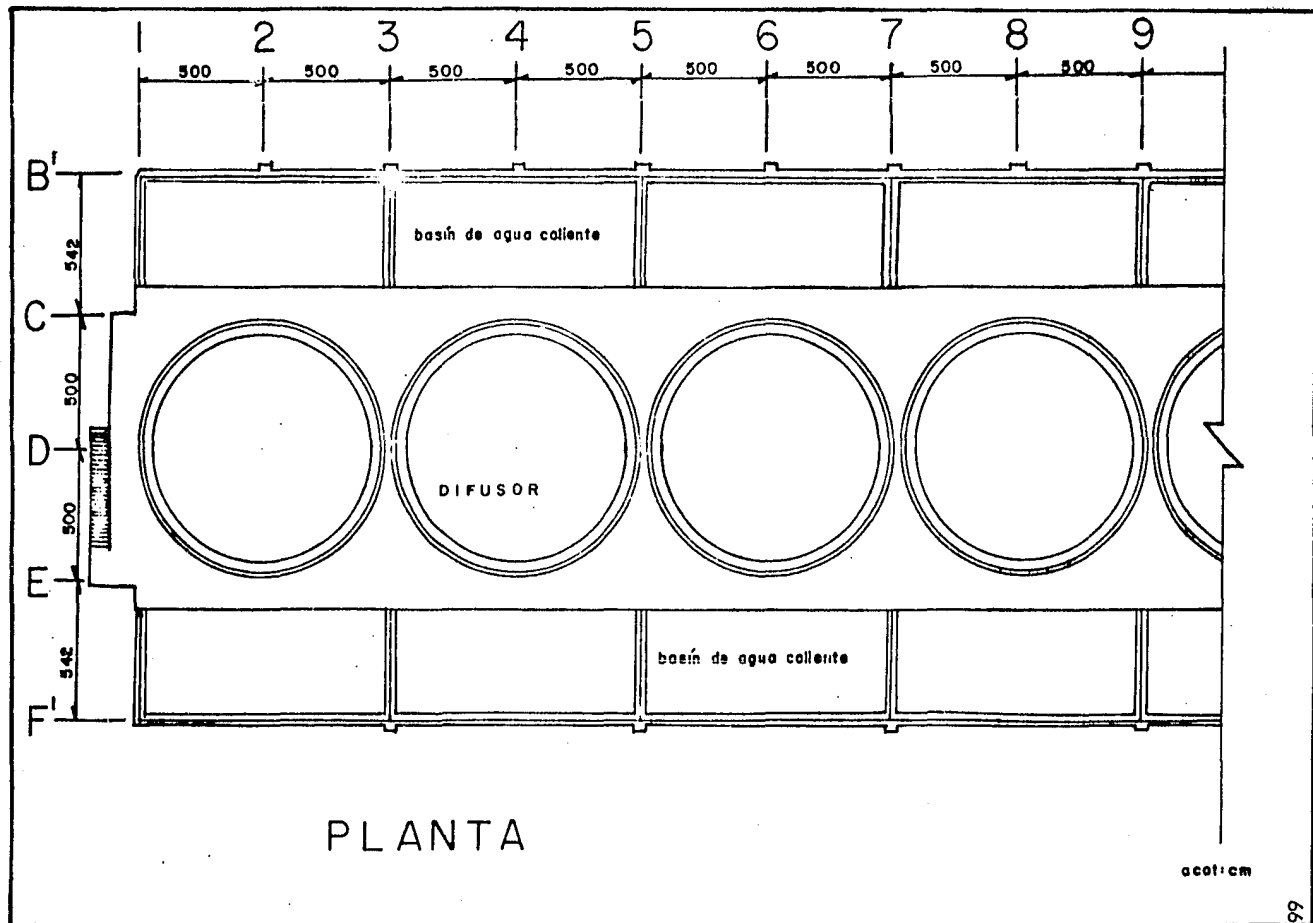
- Localización, número adecuado y verticalidad de puntales. Apoyo de éstos sobre rastras y cuñas de ajuste, las cuales no deberán estar sueltas.
- Atiesamiento lateral y diagonal de puntales y marcos. Empalmes y traslapes de pies derechos, largueras, madrinas y puntales. Firmeza de los costados por medio de yugos, separadores y barrotes.
- Apuntalamiento de pisos inferiores, en su caso. Los puntales de pisos superiores coincidirán con los de los inferiores con la misma vertical, hasta llegar al suelo.
- Estructuración adecuada de la obra falsa para resistir presiones del viento, o vibraciones por cargas móviles.
- Alineamientos, niveles y dimensiones.
- Limpieza de la cimbra
- Humedecimiento de la cimbra de madera inmediatamente antes del vaciado.

En los casos que se considere necesario, se controlará la secuencia y rapidez del colado, para evitar o disminuir excentricidad de carga debida al concreto colocado o al equipo que se utilice para su colocación.

Durante y después del colado, se inspeccionará la cimbra para detectar, deflexiones, pandeos, asentamientos o desajustes de las formas o de la obra falsa.

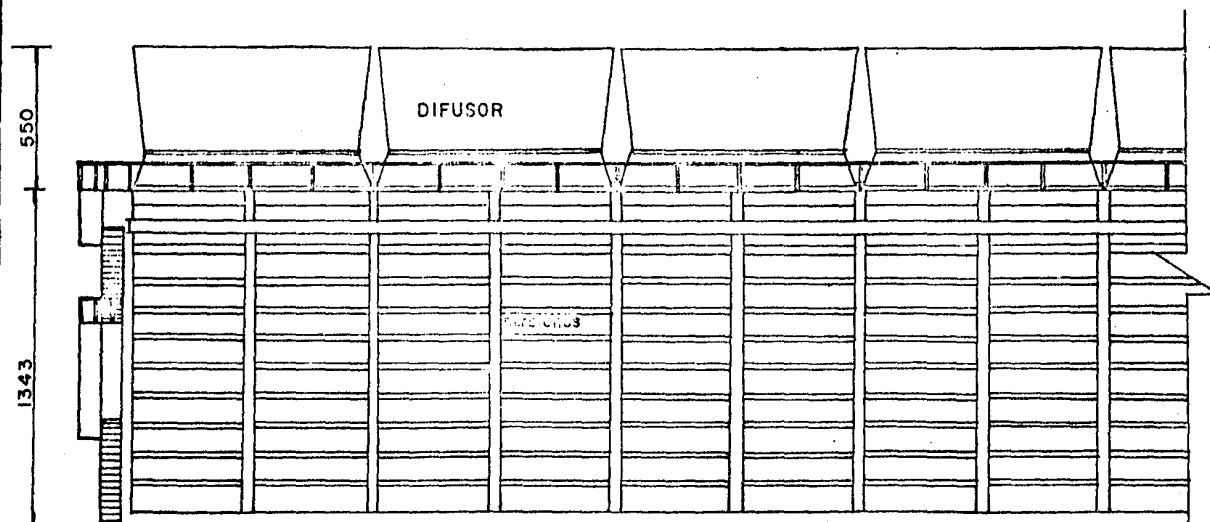
La operación de retirar la cimbra se hará evitando choques y vibraciones que dañen en cualquier forma al concreto.

Los conceptos de trabajo en los que se incluyen todos los recursos directos o indirectos necesarios para efectuar el trabajo, tales como materiales, mano de obra, operación y mantenimiento de equipo, administración y dirección de los trabajos, vienen contemplados en el capítulo V referente a costos.



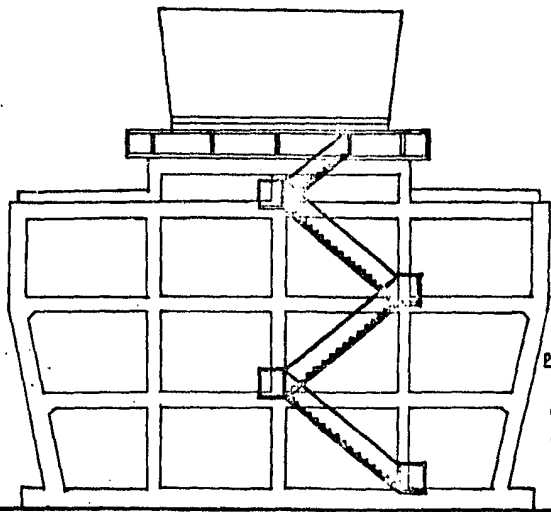
PLANTA

1:100

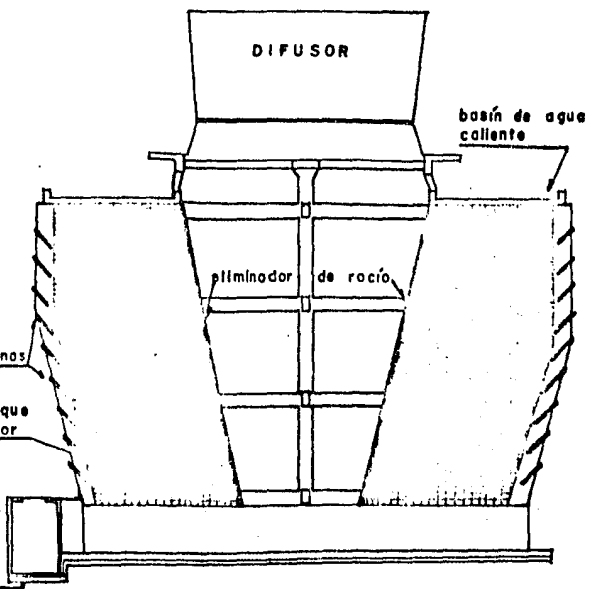


FACHADA LONGITUDINAL

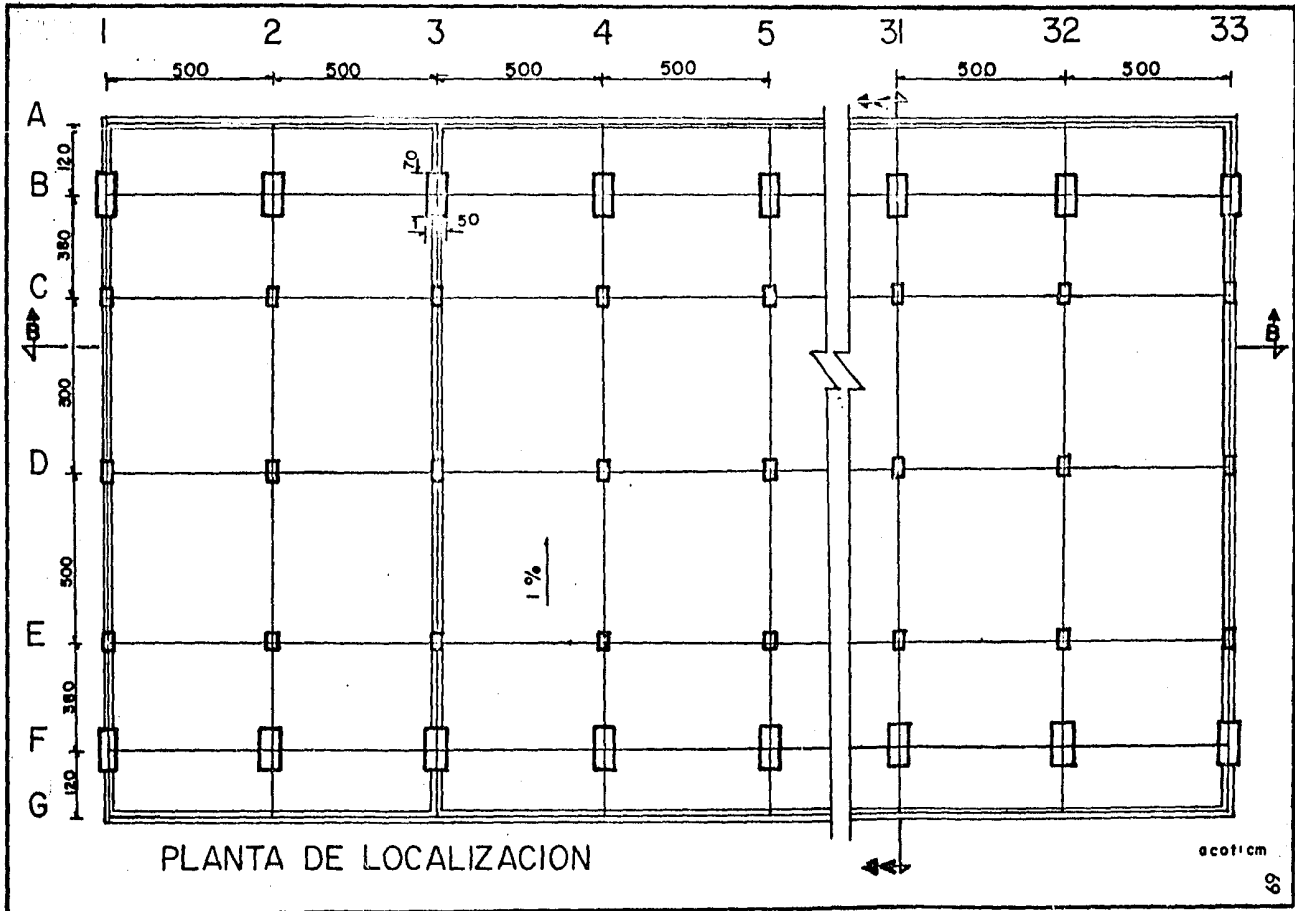
acot: cm



FACHADA TRANSVERSAL



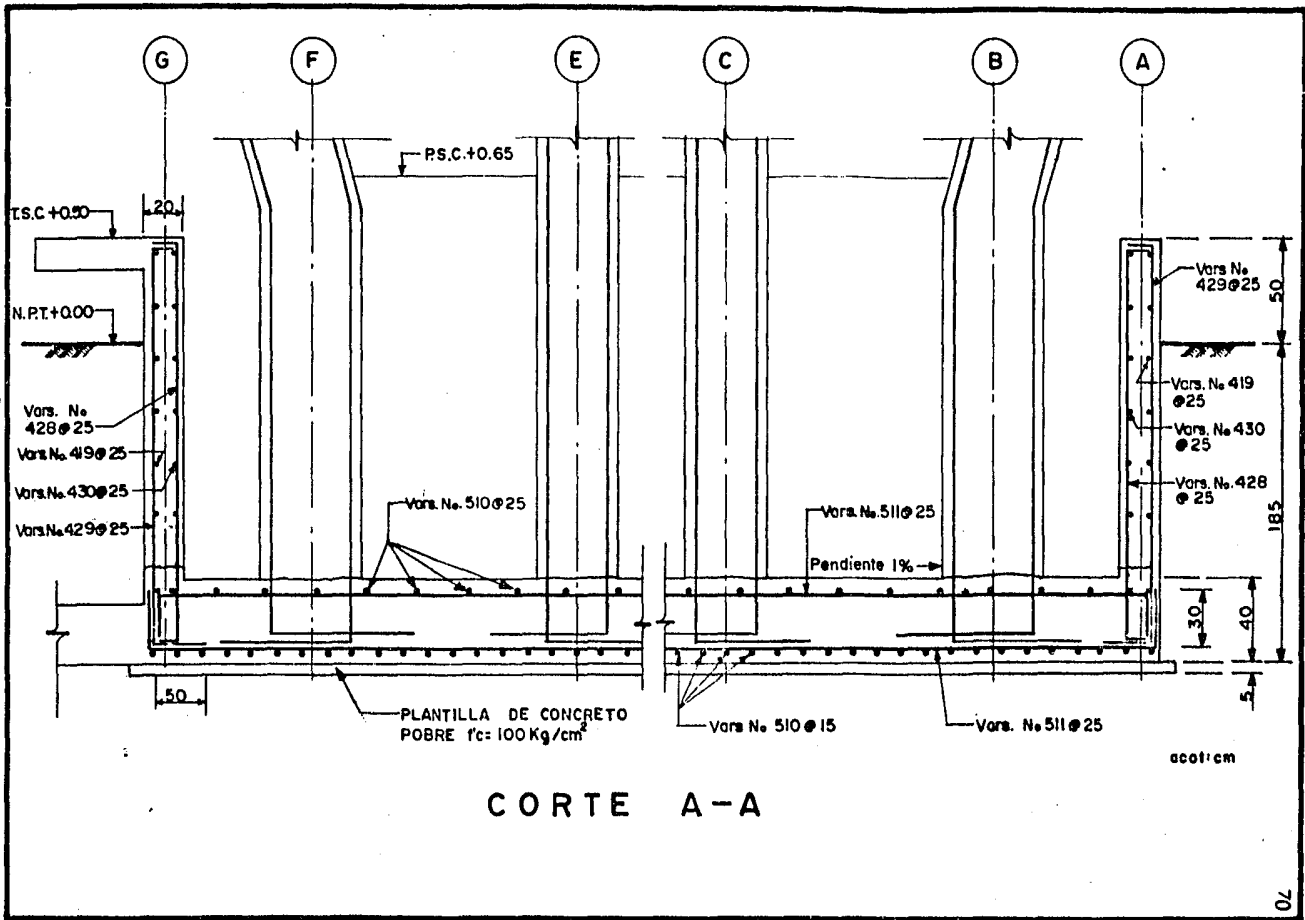
CORTE TRANSVERSAL



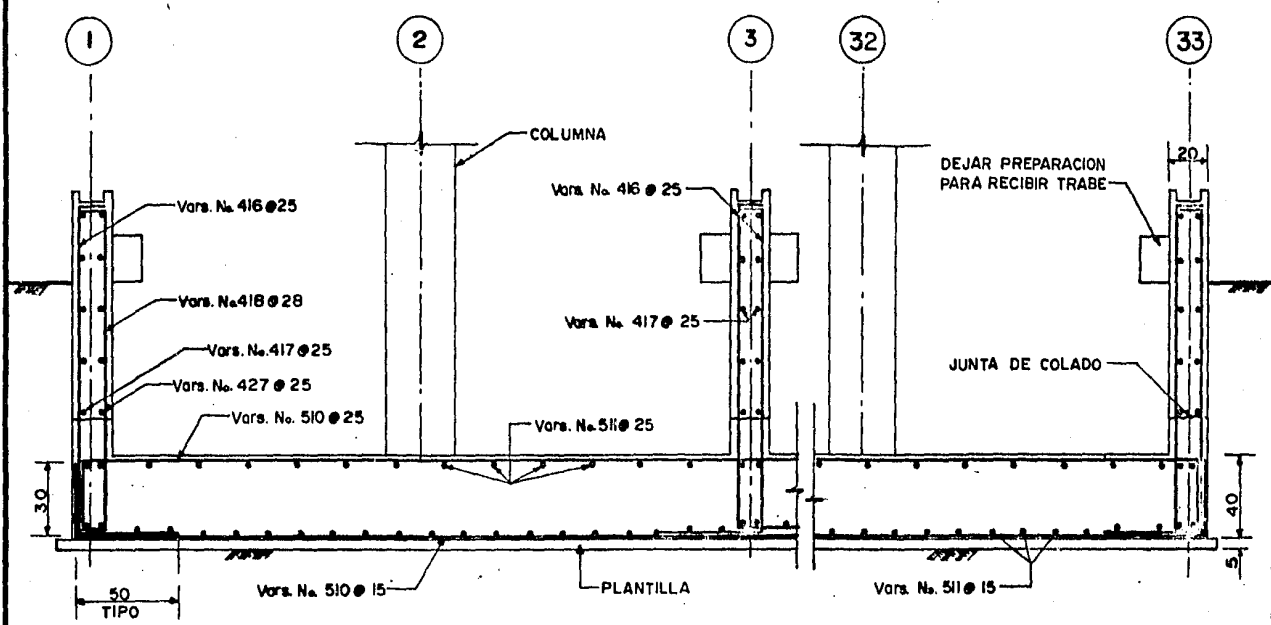
PLANTA DE LOCALIZACION

acoficm





# CORTE B-B



ccol:cm



## CAPITULO V

### COSTOS

El costo total de la obra civil de la torre de enfriamiento es tá estimada en base a los conceptos de trabajo comprendidos en los catálogos - GEN y REDIN de precios unitarios para plantas industriales, elaborados por -- PEMEX para tal efecto. Los conceptos de trabajo de la obra civil comprende:

- 1.- Trazo y nivelación de las áreas de construcción de los edificios y explanadas.
- 2.- Excavaciones
- 3.- Cimbrados de elementos colados en el lugar y precolados .
- 4.- Habilitado y armado de acero de refuerzo.
- 5.- Elaboración de concretos con resistencias de 50,100, - 200 y 250 kg/cm<sup>2</sup> y vaciados en plantillas, trabes, co- lumnas, losas, difusores, elementos precolados, hasta -

- en alturas de 20 m. aproximadamente.
- 6.- Colocación de elementos precolados.
  - 7.- Construcción de conexiones de unión tipo entre columnas y trabes.
  - 8.- Suministro y colocación de accesorios internos de la torre de enfriamiento.
  - 9.- Acabados de los edificios
  - 10.- Pavimentación de las áreas circundantes.

Cuando algún concepto de trabajo de la obra civil no está comprendido en alguno de los catálogos de precios unitarios, se procede a estimar su precio unitario en base a los alcances de trabajo del mismo. A continuación se mencionan los conceptos de trabajo de la obra civil de la torre de enfriamiento, así como también; la cantidad estimada, precio unitario e importe total del mismo. Al final se describen los alcances de trabajo de algunos conceptos, incluyendo las indicaciones por parte de PEMEX para la ejecución del mismo.

El tiempo de ejecución de la obra civil, está estimada en --  
540 días con un costo aproximado de \$ 553 697 620.70

OBRA:

CONSTRUCCION DE LA OBRA CIVIL DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE 36-F-01

No.	ESPECIFICACION Y DESCRIPCION DEL CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT. (CON NUM).	IMPORTE
	Limpieza en áreas urbanas o urbanizadas y trabajos topográficos				
01	G-001-004 trazo y nivelación. ( tres mil setecientos cuarente metros cuadrados)	M2	3 740.00	41.31	154 499.40
	Rellenos:				
02	G-012-015 relleno con herramienta manual compactado sin control de laboratorio. ( ocho mil cuatrocientos cuarenta y tres metros cúbicos ).	M3	8 443.00	608.99	5 141 702.57
03	G-012-110 extendido y nivelado (bordeo) de material de desperdicio ( lodo, despulme, etc) amontonados en los lugares de tiro, volumen medido en banco, efectuado con maquinaria. (cinco mil setecientos setenta y ocho metros cúbicos)	M3	5 778.00	64.27	371 352.06
03.1	S/P impermeabilizante integral ( festegral) para concreto en muros, tanques y otras estructuras para concreto F'c 250 kg/cm2. ( veinticinco mil trescientos noventa kilogramos).	KG	25 390.00	89.00	2 259 710.00

OBRA:

CONSTRUCCION DE LA OBRA CIVIL DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE 36-F-01

No.	ESPECIFICACION Y DESCRIPCION DEL CONCEPTO	UNI-DAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT. (CON NUM.)	IMPORTE
CIMBRAS:					
04	G-019-005 cimbra en reglas y fronteras (Ciento ochenta y cinco metros cuadrados)	M2	185.00	1 782.16	329 699.60
05	G-019-035 cimbra en muros de 0 a 2 m. de altura. (Dos mil ochocientos veinticinco metros cuadrados).	M2	2 825.00	2 705.45	7 642 896.25
06	G-019-040 cimbra en muros de 2.01 a 4m. de altura (Ciento setenta metros cuadrados)	M2	170.00	2 921.34	496 627.80
07	G-019-045 cimbres en muro 4.1 a 6m. de altura. (noventa metros cuadrados).	M2	90.00	3 165.57	284 901.30
08	Esp. part. C-1 cimbra en traves coladas en sitio (según plano F-520-D) (Ciento cincuenta y cinco metros cuadrados).	M2	155.00	3 216.72	498 591.60
09	Esp. part. C-1 cimbra en columnas (según plano F-506-D) (Cuatro mil cuatrocientos cuarenta y cinco metros cuadrados)	M2	4 445.00	3 084.96	13 712 647.20
10	Esp. part. C-1 cimbra en anillo de difusor (según plano F-509-D). (Un mil doscientos treinta metros cuadrados)	M2	1 230.00	3 636.83	4 473 300.90

OBRA:

CONSTRUCCION DE LA OBRA CIVIL DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE 36-F-01

No.	ESPECIFICACION Y DESCRIPCION DEL CONCEPTO	UNI-DAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT. (CON NUM).	IMPORTE
11	Esp.part.C-1 cimbra en losas ( Mil cien metros cuadrados)	M2	1 100.00	2 493.84	2 743 224.00
12	Esp.part. C-1 cimbra en precolados (Nueve mil ciento cuarenta metros cuadrados).	M2	9 140.00	2 119.53	19 372 504.20
13	Esp. part.C-1 cimbra en basín de agua ca - liente (según plano F-516-D) (Dos mil cuatrocientos setenta metros cuadra dos).	M2	2 470.00	2 493.84	6 159 784.80
14	Esp.part. C-1 cimbra en cajas de salpiqueo y pasillos ( según plano F-517 -D). (Trescientos diez metros cuadrados)	M2	310.00	2 493.84	773 090.40
15	Esp.part.C-1 cimbra en atraques para cabeza les (según plano F-523-D). ( Sesenta metros cuadrados),	M2	60.00	2 328.62	139 717.20
16	Esp.part. C-1 cimbra en escaleras (según pla no F-512-D). (Cincuenta y cinco metros cuadrados).	M2	55.00	3 227.12	177 491.60
17	Esp.part.C-1 cimbra en canal colector (se gún plano F-522-D) (Mil sesenta y cinco metros cuadrados).	M2	1 065.00	2 921.34	3 111 227.10
18	Esp.part.C-L cimbra en registro de limpieza (según plano F-519-D) (Quinientos treinta metros cuadrados).	M2	530.00	2 921.34	1 548 310.20

2



OBRA :

CONSTRUCCION DE LA OBRA CIVIL DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE 36-F-01

No.	ESPECIFICACION Y DESCRIPCION DEL CONCEPTO	UNI-DAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT. (CON NUM).	IMPORTE
19	Esp.part.-C-1 cimbra en soportes de persianas ( según plano F-514-D). (Doscientos cuarenta y cinco metros cuadrados).	M2	245.00	2 071.51	507 520.00
20	Esp.part.C-1 cimbra en soporte para tuberías (según plano F-409). (Doscientos treinta metros cuadrados).	M2	230.00	2 328.62	535 582.60
21	G-020-315 habilitado y colocación de malla -Lac 66-44 ( Ciento setenta y dos metros cuadrados).	M2	172.00	639.81	110 047.32
22	R-020-551 carga de material con vehículos de acarreo (vol. medido suelto). (Siete mil quinientos doce metros cúbicos) Acarreos con camiones de volteo de material producto de excavación (volumen medido suelto).	M3	7 512.00	89.47	672 098.64
23	Esp.part.A-1 acarreo 1er. km (Siete mil quinientos doce metros cúbicos).	M3	7 512.00	77.42	581 579.04
24	Esp.part.A-2 acarreo kms.subsecuentes (Siete mil quinientos doce metros cúbicos, kilómetros...)	M3-KM	7 512.00	35.01	262 995.12

OBRA:

CONSTRUCCION DE LA OBRA CIVIL DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE 36-F-01

No.	ESPECIFICACION Y DESCRIPCION DEL CONCEPTO	UNI-DAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT. (CON NUM.)	IMPORTE
EXCAVACION EN LAS ZANJAS CON MAQUINARIA					
25	R-030-201 de 0 a 2 m. en material "A" (Siete mil seiscientos noventa y nueve metros cúbicos)	M3	7 699.00	224.07	1 725 114.93
26	R-030-202 de 2.01 a 4m. en material "A" (Mil novecientos treinta y dos metros cúbicos).	M3	1 932.00	250.96	484 854.72
27	R-030-203 de 4.01 en adelante en material "A" (Doscientos cuarenta y cinco metros cúbicos)	M3	245.00	304.66	74 641.70
28.1	R-030-204 de 0 a 2 m. en material "B" (Cinco mil doscientos treinta metros cúbicos)	M3	5 230.00	393.84	2 059 783.20
28.2	R-030-205 de 2.01 a 4m. en material "B" (Mil doscientos ochenta y ocho metros cúbicos).	M3	1 288.00	441.12	568 162.56
28.3	R-030-206 de 4.01 en adelante en material "B" (ciento sesenta y cinco metros cúbicos).	M3	165.00	551.40	90 981.49
29	R-030-502 bombeo de achique con motobomba autocebante de 3" ø ( Cuatrocientas horas).	HRS	400.00	358.38	143 352.00

OBRA:

CONSTRUCCION DE LA OBRA CIVIL DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE 36-F-01

No.	ESPECIFICACION Y DESCRIPCION DEL CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT. (CON NUM.)	IMPORTE
ACERO DE REFUERZO					
30	R-030-753 acero de refuerzo grado duro del No. 2.5. al No. 4 ( ASTM-A-615, gr. 60, 4200 kg/cm <sup>2</sup> ). (Ciento noventa y cinco toneladas).	TON	195.00	184 695.00	36 015 525.00
31	Idem anterior solo que del No. 5 al No.11 (Cuatrocientos cuarenta y dos toneladas).	TON	442.00	178 064.07	78 704 318.92
CONCRETO (ELABORACION Y VACIADO).					
32	R-030-902 concreto f'c = 200 kc/cm <sup>2</sup> . (Mil trescientos treinta y ocho metros cúbicos).	M3	1 338.00	15 236.04	20 385 821.52
33	R-030-903 concreto f'c=250 kg/cm <sup>2</sup> . (Mil seiscientos cincuenta metros cúbicos)	M3	1 650.00	16 100.81	26 566 336.50
34	Esp.part.CO-1 plantilla de concreto f'c=100 kg/cm <sup>2</sup> . de 5cm de espesor ( Ciento cuarenta y ocho metros cúbicos).	M3	148.00	15 346.40	2 271 267.20

OBRA :

CONSTRUCCION DE LA OBRA CIVIL DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE 36-F-01

No.	ESPECIFICACION Y DESCRIPCION DEL CONCEPTO	UNI-DAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT. (CON NUM.)	IMPORTE
35	Esp.part.CO-1 plantilla de concreto $f'c=50\text{kg/cm}^2$ de 5 cm de espesor (Diecinueve metros cúbicos).	M3	19.00	13 481.86	256 155.34
36	Esp.part.CO-1 plantilla de concreto $f'c=50\text{kg/cm}^2$ de 7 cm de espesor (Siete punto cincuenta metros cúbicos)	M3	7.50	13 876.35	104 072.62
37	Esp.part.CO-2 concreto $f'c=200\text{ kg/cm}^2$ en precolados. (Mil sesiscientos veinticinco metros cúbicos).	M3	1 625.00	15 236.04	24 759 150.00
38	Esp.part. CO-2 concreto $f'c=250\text{ kg/cm}^2$ en precolados. (Veinticinco punto cincuenta metros cúbicos)	M3	25.50	16 100.82	410 570.91
39	G-039-175 elaboración y colocación de compuesto rellenedor grout 648 de ceilcote para recibir placas de asiento de maquinaria.Hasta 0.05m. (cuatrocientos cincuenta litros).	LTS.	450.00	1 592.24	716 508.00
40	G-049-005 fabricación y colocación de herrajes hasta 20 m. de altura. (Mil quinientos kilogramos) Pavimentación en calles, áreas de proceso y explanadas.	KG.	1 500.00	542.36	813 540.00

OBRA:

CONSTRUCCION DE LA OBRA CIVIL DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE 36-F-01

No.	ESPECIFICACION Y DESCRIPCION DEL CONCEPTO	UNI DAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT. (CON NUM.)	IMPORTE
41	R-050-101. concreto f'c=200 kg/cm2.- De 15cm2. de espesor armado con varillas de 3/8" a cada 30 cm en ambos sentidos. ( Nueve mil cientoveinticinco metros cuadrados)	M2	9 125.00	3 429.89	31 297 746.25
42	G-191-010.plantilla en zanja, para instalar tubería, de arena ( Seiscientos metros cúbicos).	M3	600.00	3 711.03	2 226 618.00
43	G-9191-175 suministro e instalación de tubería de concreto reforzado de 38 cms, de diámetro ( Ciento diecisiete metros).	M	117.00	6 453.57	755 067.69
44	G-191-530 conexión de tubería de concreto reforzado con paredes de registro, de 38 cm de diámetro. ( Veintisiete conexiones).	CONX	26.00	1 205.75	31 349.50
44.1	G-193-030 instalación de tubería de fofo 25cm. de diámetro. ( Cincuenta metros ).	M	50.00	22 857.72	1 142 886.00
45	G-196-010 escal nes empotrados de varillas de 19mm $\phi$ en "U" de 20x 40x20 cm. ( Doscientos diez piezas)	PZAS	210.00	1 001.59	210 333.9

OBRA :

CONSTRUCCION DE LA OBRA CIVIL DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE 36-F-01

No.	ESPECIFICACION Y DESCRIPCION DEL CONCEPTO	UNI-DAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT. (CON NUM.)	IMPORTE
46	G-198-020 tapas, rejillas y coladeras pluviales (Contratista suministra materiales). ( Dos mil quinientos ochenta kilogramos).	KG	2 580 .00	206.25	532 125.00
47	Juntas de construcción de banda P.V.C. ojillada de 191 mm de ancho en losa y muros de concreto. ( Novecientos setenta metros).	MTS.	970.00	1 889.95	1 833 251.50
PRECOLADOS					
48	Esp. part.P-1 carga, transporte a 1er. km descarga, montaje, plomeado, nivelado, acufinado y recibido de estructuras precoladas). ( Tres mil novecientos noventa toneladas).	TON.	3 990.00	3 044.09	12 145 919.10
49	S/P suministro y colocación de tubo P.V.C. de 2" $\phi$ para izaje de precolados. (Trescientos ochenta y uno). metros	MTS.	381.00	671.43	255 814.83
50	S/P suministro y colocación de tubo hidráulico de P.V.C. de 2" $\phi$ de 0.18 m. de longitud ahogado en la losa ( según plano F-516-D). ( Veinte mil ciento sesenta piezas)	PZA	20 160.00	120.82	2 435 731.20

OBRA:

CONSTRUCCION DE LA OBRA CIVIL DE LA TORRE DE EFRIAMIENTO DE 36-F-01

No.	ESPECIFICACION Y DESCRIPCION DEL CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT. (CON NUM.)	IMPORTE
51	S/P suministro y colocación de tubo P.V.C. de 1" Ø de 0.18m. de longitud ahogado en la losa (según plano F-516-D) ( Mil ochocientas piezas)	PZA	1 800.00	95.50	160 440.00
52	Esp. part. AD-1 adhesivo festerbond o similar para unir concreto viejo con nuevo. ( Seiscientos seis metros cuadrados)	M2	606.00	166.50	100 899.00
53	Esp. part. AD-2 aditivo expansor festerlith "E." o similar ( Veintitres kilogramos )	KG	23.00	2 158.43	49 643.89
54	Esp. part. R-1 suministro y colocación ON de rejilla tipo firmalite en cárcamo de bombeo de 5 cm. de peralte. ( Cincuenta y siete metros cuadrados)..	M2	57.00	51 849.96	2 955 447.72
55	Esp. part. B-1 fabricación y colocación de barandales de acero al carbón galvanizado incluye todos los accesorios necesarios (PEMEX suministra tuberías) según plano F-513-D. ( Tres mil seiscientos kilogramos )	KG	3 700.00	383.91	1 420 480.32

OBRA:

CONSTRUCCION DE LA OBRA CIVIL DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE 36-F-01

No.	ESPECIFICACION Y DESCRIPCION DEL CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT. (CON NUM.)	IMPORTE
	Construcción de conexiones entre columnas y traveses de la torre de enfriamiento de acuerdo a los planos F-518-D, y F-507-D incluye: suministro y colocación de perfiles ahogados de columna y traveses soldadura de fijación, habilitado y colocación de acero de refuerzo cimbrado y descimbrado de conexión así como suministro y aplicación de concreto con aditivo expansor de volumen.				
56	Esp. part. U-1 conexión tipo "A" (Veintidos nodos)	Nodos	22.00	14 856.45	327 721.90
57	Esp. part. U-1 conexión tipo "B" (Cien nodos)	Nodos	100.00	14 896.43	1 489 645.00
58	Esp. part. U-1 conexión tipo "C" (Doce nodos).	Nodos	12.00	14 896.45	178 757.40
59	Esp. part. U-1 conexión de tipo "D" (Setenta y ocho nodos)	Nodos	78.00	14 896.45	268 136.10
60	Esp. part. U-1 conexión tipo "E" (Cincuenta y cuatro nodos)	Nodos	54.00	14 896.45	804 408.30
61	Esp. part. U-1 conexión tipo "F" (doce nodos)	Nodos	12.00	14 896.45	178 757.40



OBRA:

CONSTRUCCION DE LA OBRA CIVIL DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE 36-F-01

No.	ESPECIFICACION Y DESCRIPCION DEL CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT. (CON NUM.)	IMPORTE
62	Esp. part. U-1 conexión tipo "G" (Doscientos treinta y uno nodos)	Nodos	231.00	14 896.45	3 441 079.95
63	Esp. part. U-1 conexión tipo "H" ( Doce nodos)	Nodos	12.00	14 896.45	178 757.40
64	Esp. part. U-1 conexión "I" ( Veinticuatro nodos)	Nodos	24.00	14 896.45	357 514.80
65	Esp. part. U-1 conexión "O" ( Diez y ocho nodos).	Nodos	18.00	14 896.45	268 136.10
66	Esp. part. U-1 conexión tipo "K" ( Treinta y seis nodos).	Nodos	36.00	14 896.45	536 272.20
67	Esp. part. U-1 conexión tipo "L" ( Diez y siete nodos).	Nodos	17.00	14 896.45	253 239.65
68	Esp. part. conexión tipo "M" ( Treinta y tres nodos).	Nodos	33.00	14 896.45	491 582.85
69	Esp. part. U-1 conexión tipo "N" ( Catorce nodos).	Nodos	14.00	14 896.45	208 550.30

SUMINISTRO Y APLICACION

## OBRA :

## CONSTRUCCION DE LA OBRA CIVIL DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE 36-F-01

No.	ESPECIFICACION Y DESCRIPCION DEL CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT. (CON NUM.)	IMPORTE
70	Esp. part. PI- 1 sello de junta entre elementos estructurales de acuerdo al plano F-501-0. utilizando sellador "Plastijoin" de "Fester" o similar Incluye imprimado previo de las juntas con "hidro-primer" de " Fester" o similar, Sec. del 1,5 cm x 2 cm. ( Cinco mil cuatrocientos setenta y cinco metros)	MTS.	5 475.00	345,46	1 891 393,50
	FABRICACION Y COLOCACION DE ANCLAS: DE ACERO COLD-ROLLED.				
71	Esp. part. AN-1 anclas tipo "L" de 1/2" $\phi$ redondo biso 37 cms. de long. 7 cm. rosca (Según plano F-509-D). ( Ciento cinco piezas).	PZAS	105.00	275.01	28 876,05
72	Esp. part. AN-1 anclas tipo "L" de 1" $\phi$ de 66 cm. de longitud. 105 cms. de rosca de acero Cold-Rolled camisa de tubo ced. 40 y 6mm de placa. ( Según plano F- 521-D) ( Dieciséis piezas).	PZA	16.00	490.55	7 848,80
73	Esp. part. AN-1 anclas tipo "L" de 1" $\phi$ 50,5 cms de longitud y 10,5 cms. de rosca ( según plano F-521-D). ( Sesenta y cuatro piezas).	PZA	64.00	375,35	24 022,40

OBRA:

CONSTRUCCION DE LA OBRA CIVIL DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE 36-F-01

No.	ESPECIFICACION Y DESCRIPCION DEL CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT. (CON NUM.)	IMPORTE
73.1	Esp. part. AN-1 ancla tipo "L" de 1" $\phi$ 53 cm. de longitud y 10.5 cm. de rosca camisa de tubo de 3" de diámetro cédula 40 y longitud de 13 cms. y placa de 13 x 13 cm. de 10 mm (Dieciséis piezas)	PZA	16.00	787.86	12 605.76
74	Esp. part. AN-1 anclas para válvulas . El diámetro y localización de las anclas dependen del proveedor ( F-517-D) ( incluye única mente la colocación) PEMEX suministra anclas ( Treinta y dos piezas)	PZA	32.00	453.84	14 522.80
75	Esp. part. AN-1 anclas tipo "L" de 1" $\phi$ 85 cm de longitud y 4.5 cms. de rosca con camisa de tubo ced. 40 $\phi$ 5.1 x 23 con placas de 5 mm. (Ver plano F-506-D). ( Ciento doce piezas)	PZA	112.00	1 263.56	141 518.72
76	Esp. part. AN-1 anclas para compuerta de 60 cm. de longitud con rosca y tuerca hexagonal ( Según plano F-519-D.) ( Ochenta y cuatro piezas.)	PZA	84.00	445.96	37 460.64
76.1	Esp. part. AN-1 anclas tipo "L" de 7/8 $\phi$ 31 cms. de longitud y 6 cms de rosca ( Según plano F-521-D). ( Cincuenta y seis piezas)	PZA	56.00	230.41	12 902.96

OBRA:

CONSTRUCCION DE LA OBRA CIVIL DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE 36-F-01

No.	ESPECIFICACION Y DESCRIPCION DEL CONCEPTO	UNI-DAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT. (CON NUM).	IMPORTE
77	S/P suministro y colocación de puerta de lámina galvanizada calibre 12 de 1.70 x 1.00 mts. incluye jaladera de lámina galvanizada con tornillos de 9.5 x 19 mm. $\phi$ y perno de cabeza de 9.5 x 38 mm $\phi$ y contra marco de ángulo de 2" x 2" x 2" x 1/4 galvanizado según plano F-513-D. ( Catorce piezas)	PZA	14.00	27 200.00	380 800.00
78	S/P suministro y colocación de puerta de lámina galvanizada cal. 12 de 1.14 x 1.20 mts, incluye y accesorios galvanizados (según plano F-509-D) ( Catorce piezas).	PZA	14.00	26 880.00	376 320.00
79	Esp. part. lte, suministro e instalación de los materiales y accesorios para los intemos por celda de las torres de enfriamiento con capacidad de 10 000 galones / minutos de acuerdo a planos F-510-D y F21 ( Hoja No. 1) y F-511-D la cantidad de material de intemos por celda con si derada sin desperdicio es eliminador de rocío 2.46 mts, 1880 pza barrenancia $\phi$ 0.9 cm. x 37.5 cm de longitud 184 pza. Tomillo tuerca y roldana 0.9 $\phi$ x 2.5 cm long. de acero inoxidable. 216 pza. Eliminador de rocío 1.20 mts. 48 pza. Tomillo $\phi$ 0/9 cm acero inoxidable 6.5 cm de long. 144 pza.				

OBRA:

CONSTRUCCION DE LA OBRA CIVIL DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE 36-F-01

No.	ESPECIFICACION Y DESCRIPCION DEL CONCEPTO	UNI- DAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT. (CON NUM.)	IMPORTE
	Soporte de eliminador 3.34				
	32 pza.				
	Soporte de eliminador 3.30 mts.				
	16 pza				
	Soporte de eliminador 3.20 mts.				
	24 pza				
	Angulo 5.1 x 7.6 x 0.6 cm acero inoxidable de 10 cm.		144	pza.	
	Rompedor de chorro		1440	pza.	
	Malla de acero inoxidable calibre 14 Ø 2.03 mm. de 1.38 x 3.38 x 3.74 mts.		288	pza.	
	Empaque de P.V.C. de 3.80 mts.		6052	pza.	
	Empaque de P.V.C. de 2.60 mts.		2878	pza.	
	Clip de polipropileno		17000	pza.	
	Alambre acero inoxidable calibre 14 de 6.0 m.		120	pza.	
	Tomillo de ojo Ø 0.9 x 6.35 acero inoxidable		40	pza.	

OBRA:

CONSTRUCCION DE LA OBRA CIVIL DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE 36-F-01

No.	ESPECIFICACION Y DESCRIPCION DEL CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT. (CON NUM).	IMPORTE
	Angulo 3.2 x 3.2 x 0.3 cm acero inoxidable 5.70 m 96 pza.				
	Angulo 3.2 x 3.2 x 0.3 cm. acero inoxidable 4.80 m. 48 pza.				
	Tomillo con tuerca y roldana de presión de $\phi$ 0.9 x 5 cms. acero inoxidable 888 pza.				
	Ancla G-1 de acero inoxidable $\phi$ 19.1 mm x 52 xm. log. con 4 cm. de cuerda y tuerca 120 pza.				
	La torre de 30-F-01 consta de ( Catorce celdas).	CELDA	14	15 408 846.37	215 723 849.20
79.1	Esp. part. U-1 construcción de conexiones entre traves de liga y soportes de tubería (Incluye : Suministro y colocación de perfiles ahogados, soldadura de fijación, colocación de acero de refuerzo cimbrado y descimbrado de conexión así como suministro y aplicación de concreto aditivo expandor de volumen) según plano F-409. ( Veinte conexiones).	CONX	20	14 896.45	297 929.00

## ESPECIFICACIONES

### ESPECIFICACION PARTICULAR No. A-1

ACARREO 1er. KM. (VOLUMEN MEDIDO SUELTO) ACARREO CON CAMIONES DE VOLTEO INCLUYE DESCARGA.

PARA CUMPLIR CON ESTA ESPECIFICACION PARTICULAR, EL CONTRATISTA DEBE CONTAR CON LA MAQUINA ADECUADA Y EL PERSONAL NECESARIO Y SUFICIENTE PARA REALIZAR EL ACARREO DE LOS MATERIALES. EL PRECIO UNITARIO ES POR M3. Y EN SU PAGO INCLUYE LAS OPERACIONES - QUE SIGUEN ADEMAS DE LOS DERIVADOS Y DEFINIDAS EN LAS NORMAS DE PEMEX 3.106.02

- 1.- Tiempos muertos del camión durante la carga.
- 2.- Acarreo a 1er. kilómetro
- 3.- Descarga en los sitios que indique PEMEX
- 4.- Regreso al sitio de carga.
- 5.- Limpieza de la caja cuando ésta lo amerite.

### ESPECIFICACION PARTICULAR No. A-2

ACARREO KMS. SUBSECUENTES ( VOL. MED. SUELTO)

Para esta operación, transporte del material producto de préstamos de banco después del 1er. km. de acarreo, el precio unitario esta dado en M3-KM y en su pago se incluyen los siguientes conceptos además de los que indique la NORMA 3.106.02 de PEMEX .

- 1.- Tiempos muertos de los vehículos durante la espera de carga.
- 2.- El acarreo del volumen suelto ( con abundamiento) a lo largo de la ruta, en km. desde el banco hasta el sitio de su descarga descontando el 1er. kilómetro.
- 3.- Descarga en los sitios que indique PEMEX.
- 4.- Regreso al banco de préstamo, de los vehículos para nuevas cargas.
- 5.- Limpieza de las cajas de los volteos las veces que sean necesarias.

ESPECIFICACION PARTICULAR No. C-1

CIMBRA EN ANILLO DIFUSOR, COLUMNAS, TRABES COLADAS EN SITIO, LOSAS, PRECOLADOS, BASIN DE AGUA CALIENTE, CAJAS DE SALPI -- QUEO ATRAQUES PARA CABEZALES, ESCALERAS, CANAL COLECTOR, REGISTROS DE LIMPIEZA, SOPORTE DE PERSIANAS Y SOPORTES DE TUBERIA.

- 1.- Selección, carga, acarreo y descarga y estiba de los materiales desde el almacén al lugar de trabajo.
- 2.- Trazo y corte de la madera para cimbra.
- 3.- Amado de la madera para fabricar la forma a vaciar o amado directo en el lugar (según sea el caso).
- 4.- Manejo, colocación, alineación, nivelación en el sitio de trabajo incluyendo pasarelas y rampas.
- 5.- Apuntalamiento o ensamble incluyendo puntales o separadores para soporte y rigidez (según sea el caso).
- 6.- Colocación de obra falsa y contraenteo (según sea el caso).
- 7.- Lubricación de la cimbra utilizando diesel
- 8.- Recuperación de cimbra después de su uso.
- 9.- Acarreo y estibado para volver a usar.

ESPECIFICACION PARTICULAR No. CO-1

PLANTILLAS DE CONCRETO DE  $F' c=100$  KG/CM<sup>2</sup>. CON ESPESOR DE 5 CM. Y DE  $F' c = 50$  KG/CM<sup>2</sup>. CON ESPESOR DE 5 Y 7 CM.

- 1.- Acarreo de los materiales del sitio de almacenamiento al lugar de elaboración.
- 2.- Dosificación y elaboración del concreto.
- 3.- Descarga de la revolvedora.
- 4.- Preparación y limpieza del lugar de colocación.
- 5.- Acarreo del concreto hasta 50m. en botes, carretillas, bogues, etc.
- 6.- Vaciado al nivel indicado.
- 7.- Pisonado, nivelado y acabado.



8.- En todos los casos se incluye maquinaria, equipo, herramienta, materiales y mano de obra para ejecutar las operaciones indicadas.

9.- Limpieza del lugar.

## ESPECIFICACION PARTICULAR No. Co-2

## ELABORACION Y VACIADO DE CONCRETO EN PRECOLADOS.

- 1.- Acarreo de los materiales del sitio de almacenamiento al lugar de elaboración.
- 2.- Dosificación y elaboración de concreto.
- 3.- Preparación y limpieza del lugar de colocación.
- 4.- Acarreo y vaciado de concreto.
- 5.- Extendido, vibrado, nivelado y acabado.
- 6.- Curado
- 7.- En todos los casos incluye: maquinaria, equipo, herramientas, materiales y mano de obra para ejecutar las operaciones indicadas.
- 8.- Limpieza del lugar.

## ESPECIFICACION PARTICULAR No. P-1

## MONTAJE DE PRECOLADOS.

- 1.- Carga de la pieza seleccionada al camión, así como la sujeción de la misma.
- 2.- Transporte en camión con acarreo libre de 1.00 km. debiendo acurrarse previamente.
- 3.- Descarga con grúa en el sitio de colocación.
- 4.- Regreso al sitio de carga del camión con 1.00 km. libre
- 5.- Carga de la pieza seleccionada, acarreo libre de 200 mts. Horizontales, incluyendo la grúa así como la sujeción de la pieza.
- 6.- Elevación y colocación en el lugar indicado del proyecto.
- 7.- Plomeo, nivelado y acurado en el sitio definitivo de fijación incluye el equipo necesario.
- 8.- Limpieza del lugar.

## CAPITULO VI

### CONCLUSIONES

Para la construcción de cualquier obra ingenieril es de vital importancia recabar información de las condiciones del subsuelo en el lugar, lo más completa posible. Los siguientes puntos son los de mayor importancia:

- 1.- Naturaleza del depósito.- Geología, excavaciones e inundaciones.
- 2.- Profundidad, espesor, composición de los estratos de suelo y roca.
- 3.- Situación del nivel freático y variación de la misma.
- 4.- Propiedades desde el punto de vista ingenieril de los estratos de suelo y roca que afectan el comportamiento de la misma.

Un estudio geológico es muy útil para el planeamiento de una investigación completa del suelo. Siendo el propósito fundamental de estos estudios geológicos determinar la naturaleza de los depósitos subyacentes en el lugar de

la investigación. Con este estudio se podrán conocer los tipos de suelo y roca que se encuentren en el lugar y poder así seleccionar los mejores métodos para la exploración del subsuelo.

De acuerdo a la importancia de la obra se elegirá el método de exploración más conveniente (o métodos según sea el caso) así como también el espaciamiento de los sondeos, los cuales van a depender de la uniformidad y regularidad del depósito del suelo. En general, el espaciamiento debe ser menor en las áreas que serán sometidas a cargas pesadas y mayor en las áreas menos críticas. La profundidad de los sondeos deberá ser tal que permita conocer todos los estratos, que por efectos de carga, tiendan a consolidarse notablemente.

Se recabó información de 3 sondeos, los cuales mostraron la estratigrafía del suelo, encontrándose un predominio de arcilla con poca arena fina en su parte superior y arcilla muy dura en los estratos más profundos. El nivel freático en general se localizó a 2 m de profundidad. La carga muerta estimada ( $5.00 \text{ T/m}^2$ ) y la carga viva correspondiente al tirante máximo en el tanque ( $1.40 \text{ T/m}^2$ ) dieron como resultado una carga total de  $6.40 \text{ T/m}^2$ . Para tratar de bajar la presión soportada por el suelo, se eligió como alternativa de cimentación más adecuada, una cimentación parcialmente compensada, la cual descargará por excavación a 2m de profundidad (profundidad del fondo del tanque)  $3.86 \text{ T/m}^2$ . Por lo tanto el incremento neto de carga, es de  $2.54 \text{ T/m}^2$ , que fue el valor tomado para el cálculo de asentamientos diferidos.

Se tomaron los perfiles estratigráficos de los sondeos SM-4170 y SM-4249 para sacar el promedio de ambos y así obtener un perfil estratigráfico que fue utilizado para el diseño de la cimentación.

Se calcularon presiones neutrales, totales y efectivas en los extremos de los estratos y a las profundidades de donde fueron extraídas muestras inalteradas del subsuelo (en las cuales se obtuvieron sus propiedades mecánicas y su correspondiente gráfica de curva de compresibilidad). Estas presiones se adicionaron a las calculadas por efectos del peso de la estructura en donde se aplicó el método de Boussinesq para áreas cargadas uniformemente.

Las presiones anteriores y las presiones iniciales se utilizaron para obtener mediante las gráficas de curva de compresibilidad los decrementos de la relación de vacíos. Utilizando la fórmula

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

se calcularon los asentamientos en los puntos deseados.

Los resultados obtenidos son menores que los valores permisibles para este tipo de estructura (15 cm). Además la relación entre el asentamiento diferencial y el claro es menor que el permisible (0.004). La alternativa de cimentación elegida fue adecuada.

La fase más importante del proceso constructivo es la parte correspondiente a la cimentación, ya que tratándose de una área grande puede presentarse la expansión del estrato afectado durante la excavación. Por lo tanto es conveniente realizar la excavación por etapas para disminuir el efecto de expansión. El abatimiento del nivel freático ayuda también al control de las expan - siones. Al mismo tiempo que se excava por tramos, se irá colando la losa de cimentación y los muros de contención. La importancia de la instalación de bancos de nivel para obtener los movimientos del subsuelo durante la ejecución de la obra es tal que garantiza un adecuado control de la cimentación durante su construcción y después de ella.

Se llevará un control de calidad para la elaboración de concreto utilizado en la construcción de las diferentes partes que componen la obra, que alcance la resistencia (a la compresión) de proyecto y que se utilicen los materiales idóneos para su elaboración. Se deberá tener cuidado en la colocación de los elementos prefabricados, para que éstos no sufran cuarteaduras que disminuyan su capacidad de carga. Se utilizarán vibradores durante el colado de la losa de cimentación, muros, columnas o elementos prefabricados para obtener un concreto lo más homogéneo posible.

Los conceptos de trabajo referidos a la construcción de la torre de enfriamiento se tomaron de los catálogos GEN y REDIN (reducido industrial) de precios unitarios para plantas industriales. La cantidad estimada del mismo se hizo en base a los planos estructurales de la obra. El precio unitario del concepto corresponde hasta el mes de agosto del año de 1985.

## REFERENCIAS

- 1.- Diseño y Construcción de Cimentaciones, Normales Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, Instituto de Ingeniería.
- 2.- Mecánica de suelos, Vol. I y II Juárez, B. y Rico R.
- 3.- Mecánica de suelos, T. William Lambe, Robert V. Whitman.
- 4.- Diseño y Construcción de Cimentaciones, Centro de Educación Continua, Facultad de Ingeniería, UNAM.
- 5.- Diseño y Construcción de Torres de Enfriamiento, Comisión Federal de Electricidad.
- 6.- Torres de Enfriamiento, PEMEX
- 7.- Normas de Construcción, PEMEX
- 8.- Catálogos de Construcción para Plantas Industriales, PEMEX
- 9.- Exploración y muestreo de suelos para proyecto de cimentaciones, Especificaciones generales para proyecto de Obras, PEMEX.
- 10.- Estudios de Exploración del subsuelo realizado por GEOTEC.