

Lej. 28



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

Comportamiento de la estructura de soporte para  
un quemador elevado de 87 m de altura, en  
una zona de alta sismicidad.

## TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL  
PRESENTAN  
JOSE LUIS BAUTISTA CAMACHO  
JOSE ALFONSO CORONA ROSAS  
MEXICO, D. F. 1986



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

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

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

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

# I N D I C E

## 1. INTRODUCCION

## II. CARACTERISTICAS DEL QUEMADOR, LA ESTRUCTURA Y EL SUELO

### A. DESCRIPCION.

1. Sistemas básicos de desfogue de gases de desecho.
  - a. Venteos atmosféricos.
  - b. Quemadores.
2. Tipo de quemadores.
  - a. Quemadores sin humo.
  - b. Quemadores de fosa para quemado sin humo.
  - c. Quemadores con humo.
  - d. Inclineradores.
  - e. Quemadores elevados.
3. Factores de los que depende la elección de un sistema de desfogue.
  - a. Análisis de cargas.
  - b. Causas más comunes de desfogues de emergencia.
  - c. Arreglo del sistema.
4. Elección del tipo de quemador apropiado al sitio.

### B. DATOS DEL QUEMADOR.

1. Localización.
2. Geometría.

C. DATOS DE LA TORRE DE SOPORTE.

1. Plantas.
2. Elevaciones.

D. CARACTERISTICAS DEL SUELO.

1. Estudio de mecánica de suelo.
2. Estratigrafía y propiedades de resistencia.

E. CARGAS BASICAS.

1. Peso propio.
2. Carga viva.
  - a. Reglamento
  - b. Equipo
3. Viento.
  - a. Estático
  - b. Dinámico
4. Sismo.
  - a. Regionalización sísmica.
  - b. Clasificación del terreno de cimentación.
  - c. Espectro de diseño.
5. Temperatura.

III. ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA TORRE DE SOPORTE.

A. ESTRUCTURACION.

B. MODELOS PARA ANALISIS.

1. Modelo analítico.
2. Modelos matemático.

C. ANALISIS DE LA ESTRUCTURA.

1. Descripción del programa de computadora.
2. Combinaciones de cargas estáticas.
3. Análisis sísmico dinámico espectral.
4. Datos para análisis al programa SAP IV.
5. Resultados del análisis.

IV. DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DE LA ESTRUCTURA.

A. CRITERIOS DE DIMENSIONAMIENTO.

1. Estados límite.
2. Esfuerzos admisibles (AISC).
3. Esfuerzos actuantes.
4. Condiciones de carga para revisión.
5. Revisión de elementos estructurales.

V. CONCLUSIONES.

## I. INTRODUCCION.

El presente trabajo tiene por objeto establecer, en términos generales, una aplicación al proceso de diseño de estructuras de uso industrial y podemos comenzar por expresar que debe desarrollarse un trabajo interdisciplinario con especialistas para realizar la fase de investigación preliminar, en la que esencialmente se hace la inspección del sitio, se desarrollan una serie de estudios para determinar requerimientos y establecer arreglos iniciales, entre áreas, edificios o equipos. También se incluyen aspectos económicos, estéticos, legales, financieros y una actividad muy importante que es la recopilación de datos.

Posteriormente, dentro del flujo de trabajo, viene la fase de diseño conceptual, en la que esencialmente se plantea la evolución de la forma estructural y sus efectos en otras especialidades: Arquitectura, diseño de equipo, instalaciones, etc., se establece una elección de materiales de acuerdo con las condiciones de cada sitio, aspectos constructivos que involucran la disponibilidad de materiales, equipo y gente especializada y no especializada. Finalmente se tiene la selección de los sistemas estructurales factibles para usar en un determinado caso. (Ref. 7).

En el capítulo II, se describe el problema básico de las plantas petroquímicas o refinerías de desfogar sustancias químicas o ga

ses de desecho y las alternativas para el tratamiento de estos -  
efluentes de desecho, describiendo además los factores de diseño  
de los que depende su elección, tipos de quemador, y la elección  
del tipo de quemador elevado apropiado al sitio, siendo en este-  
caso el quemador elevado tipo torre y para el cual se llevó a ca-  
bo la revisión del sistema estructural como se detalla en el ca-  
pítulo III.

En el capítulo III se lleva a cabo el análisis de la torre de so-  
porte, estableciendo los criterios de estructuración, modelos de  
análisis, acciones nominales, condiciones generales de carga, la  
descripción del programa de computadora para análisis estructu-  
ral "SAP", con el que se realizaron los análisis estructurales -  
para cada una de las condiciones generales de carga estáticas y-  
el análisis dinámico espectral de la estructura para un espectro  
de diseño sísmico proporcionado y las respuestas modales calcula-  
das por el programa. Al final del capítulo se trata la interpre-  
tación de los resultados obtenidos por el programa de computado-  
ra "SAP IV" en relación a los elementos mecánicos internos, para  
condiciones estáticas y dinámicas.

En el capítulo IV se presentan los criterios de dimensionamiento  
y definiciones requeridas para poder llevar a cabo la revisión -  
de la estructura y finalmente la aceptación estructural de sus -  
miembros, o determinar aquellos que no son adecuados localmente-

o en conjunto bajo condiciones de deformación o esfuerzos.



## II. CARACTERISTICAS DEL QUEMADOR, LA ESTRUCTURA Y EL SUELO.

### A. DESCRIPCION.

En una refinera o planta petroquímica la necesidad de un sistema de desfogues se justifica al ser un medio seguro y efectivo de controlar el exceso de hidrocarburos resultante en una falla de equipo, para tratar gases de desecho durante su operación normal o alguna situación de emergencia. Antes de la utilización de los quemadores, los hidrocarburos eran expulsados directamente a la atmósfera, creando graves problemas, como la acumulación (a nivel de piso) de grandes cantidades de vapores en niveles tóxicos e inflamables y en general la contaminación del ambiente. Por lo tanto la decisión de descargar a la atmósfera hidrocarburos u otros vapores inflamables o peligrosos, requiere cuidadosa atención de diseño para no crear una situación potencialmente peligrosa o de efectos devastadores.

#### 1. Sistemas básicos de desfogue de gases de desecho.

Los sistemas básicos de desfogues los constituyen los venteos atmosféricos y los quemadores.

##### a. Venteos atmosféricos.

Un venteo atmosférico es un sistema de desfogue que deberá diseñarse adecuadamente para descargar a la atmósfera gases de desecho sin quemarse. Las corrientes gaseosas de un sistema de relevo pueden ser descargadas con seguridad directamente a la atmósfera. Estos sistemas se recomiendan para tratar descargas de -

gases en pequeña cantidad y de emisión intermitente de preferencia.

b. Quemadores.

En general un quemador es un medio efectivo para eliminar económicamente por combustión corrientes gaseosas de desecho. Estos pueden ser elevados o de fosa a nivel de piso. En un quemador elevado la combustión se lleva a efecto en la punta de una chimenea o tubería elevada apropiadamente soportada, donde se localiza la boquilla de quemado y un medio de ignición.

En un quemador de fosa la combustión es llevada a nivel de piso y los gases podrán quemarse (dependiendo del tipo de quemador) con ó sin humo.

2. Tipo de quemadores.

a. Quemadores sin humo.

Los quemadores sin humo se requieren para disponer limpiamente de gases de desecho utilizando corrientes externas como vapor de agua, atomización de agua, gas combustible y aire para producir mezclas de gas/aire de gran velocidad y turbulencias, sin la emisión de humo o contaminantes.

Los quemadores sin humo son usados en:

- Plataformas marinas.
- Terminales de almacenamiento.
- Refinerías.
- Plantas petroquímicas.

b. Quemadores de fosa para quemado sin humo.

Este es un tipo de quemador de gran efectividad para eliminar - por combustión sin humo, gases de desecho en volúmen relativamen te bajo.

En este tipo de quemador la corriente de gas es dividida en eta - pas de quemado por medio de válvulas controladas, debidamente es - calonadas en diferentes rangos de presión. Cada una de estas - válvulas estan instaladas a la entrada de un cabezal de quemado - debidamente protegido de la radiación de calor producida en el - quemador.

Numerosos tubos verticales (RISER) emergen del cabezal de quema - do en cuya punta es quemada una pequeña cantidad del gas en una - tobera especialmente diseñada para crear turbulencia y velocidad en la salida y consecuentemente quemarse sin humo. La instala - ción puede ser enclaustrada en una fosa de quemado con el fin de disminuir el efecto de la radiación calorífica del quemador.

c. Quemadores con humo.

Son especialmente instalados para tratar grandes volúmenes de - gas producidos en situación de emergencia o durante fallas de - equipo, o bien en instalaciones donde el desfogue sea esporádico o de poca intensidad.

Los quemadores de fosa para quemado con humo constan de una bo - quilla de quemado o tubería de acero de aleación a la que se le ha protegido internamente con refractario, se le ha puesto un -- sistema de seguridad o sello interno mediante mamparas colocadas

de tal manera que tienden a evitar el retroceso de la flama y -  
minimizar el gas de ayuda. A esta boquilla se le debe suminis -  
trar un sistema de ignición y pilotos de encendido. Se puede en -  
claustrar en una fosa para controlar la radiación de calor y los  
peligros consecuentes.

d. Incineradores.

Es un sistema de desfogue utilizado frecuentemente durante la -  
producción de algún producto petroquímico cuando resulta la emi -  
sión de una corriente líquida de desecho altamente corrosiva, y -  
si esta corriente no es enviada a algún tratamiento químico, se -  
le debe quemar.

Un incinerador es un medio para quemar corrientes líquidas me -  
diante atomizado con agua o vapor inyectados a baja presión.

e. Quemadores elevados.

Un quemador elevado es una chimenea o una tubería soportada en -  
cuya punta se lleva a efecto la combustión de gases de desecho.

En la base del quemador elevado puede adaptarse un recipiente de  
agua para detener el retroceso de una flama débil ó inestable.

El diseño propio de un quemador es esencial, ya que si el quema -  
dor opera con una alta eficiencia de combustión proporcionará la  
seguridad y efecto deseado.

Cada quemador tiene un rango óptimo de flujo de gas y velocidad -  
de salida, donde la cantidad de hidrocarburos no quemados se re -  
duce, sin el incremento significativo de gases contaminantes.

3. Factores de los que depende la elección de un sistema de desfo -  
gue.

a. Análisis de cargas.

El primer requerimiento en el diseño de un sistema es un análi -  
sis detallado de todas las situaciones posibles de desfogue que -  
puedan presentarse a fin de determinar la condición de máximo -  
desfogue en emergencia. La máxima situación de emergencia es -  
la suma de las descargas individuales por una falla en particu -  
lar. La máxima carga de desfogue no es el número mayor en li -  
bras por hora que pueda presentarse sino aquella condición máxi -  
ma que ocasione el mayor cabezal de desfogue. Además en el aná -  
lisis de cargas debe ponerse especial atención a aquellas cargas  
que se hacen aditivas por dependencia del mismo sistema.

A continuación mencionaremos algunas de las causas más comunes -  
de desfogue.

b. Causas más comunes de desfogues de emergencia.

b.1 Sobrepresión.

Los recipientes a presión, cambiadores de calor, equipo de opera -  
ción y tubería, son diseñados para contener un sistema de pre -  
sión.

El diseño es basado en la presión de operación normal a la tempe -  
ratura de operación, el efecto de cualquier combinación de carga  
mecánica tenderá a romper la diferencial entre la presión de ope -  
ración y la presión de calibración de los elementos de segurí -  
dad. Por ejemplo una válvula de bloqueo que ha sido cerrada -

inadvertidamente a la salida de un recipiente presurizado, expondrá dicho recipiente a un valor de presión que excederá la presión máxima de trabajo causando por tanto un excedente de hidrocarburos que tendrán que ser desfogados al quemador.

#### b.2 Falla de energía eléctrica.

La determinación de los requerimientos de relevo resultantes de las fallas de energía eléctrica requiere de un cuidadoso análisis para evaluar que equipo es afectado por la falla de energía, y como la falla en el equipo afecta la operación de la planta.

La falla de potencial deberá ser analizada por 3 maneras:

1. Falla local.- Un sólo elemento del equipo será afectado.
2. Falla intermedia.- Un centro de distribución, un centro de control o un bus será afectado.
3. Falla total.- Todo el equipo eléctrico se ve afectado.

#### b.3 Falla del sistema de refrigeración.

La pérdida del reflujo como resultado de la falla de instrumentación ó del equipo de bombeo, puede causar sobrepresión en una columna por la pérdida de refrigerante en el proceso.

#### b.4 Falla de agua de enfriamiento.

Las consecuencias ocasionadas por la falla de este servicio, parcial o totalmente deben ser cuidadosamente evaluadas dependiendo del equipo afectado.

#### b.5 Expansión térmica.

Un incremento en el volumen del líquido causado por aumento o disminución en temperatura podrá ser originado por varias cau

sas, las más comunes ocurren cuando:

- La tubería o recipiente han sido bloqueados mientras se llena con líquido frío, y subsecuentemente es calentado o por ganancia de calor del medio ambiente o fuego.
- Un cambiador de calor es bloqueado en la lado frío teniendo flujo en el lado caliente.

#### b.6 Fuego.

Los cálculos para las necesidades de relevo en recipientes sometidos a fuego se presentan en el API RP/520 Parte I Secc. 6. (Ref. 4).

Sin embargo, pueden tomarse algunas consideraciones para el diseño del sistema de desfogue.

- La extensión de la zona a fuego y, las características de la instalación que permitan confinar el fuego dentro de un área dada.  
La experiencia indica que un fuego puede ser confinado dentro de un área de 2500 pies cuadrados.
- Los aislamientos adicionales o un incremento en espesor del aislamiento en un recipiente en especial podrá ser considerado como un medio para reducir la generación de vapores resultantes de la exposición al fuego.
- Durante un incendio, todas las alimentaciones y corrientes involucradas a y del sistema deberán ser despresurizadas. De tal manera que la generación de vapor es solamente función de calor absorbido y del calor latente de vaporización.

del líquido.

c. Arreglo del sistema.

La selección de un sistema está sujeto a muchos factores los cuales son específicos para uno en particular, tales son:

Propiedades físicas y químicas.

El punto de flasheo, el límite de explosividad, temperatura de ignición de ciertos líquidos inflamables, gases y sólidos. Especial consideración debe darse a los cambios de fase, vaporización de líquidos, condensación del vapor que ocurra en un fluido cuando la presión es reducida y resulte algún enfriamiento.

Propiedades fisiológicas.

- Toxicidad.- Es el grado en el cual una sustancia es venenosa.
- Olor.- Deben tomarse en cuenta las propiedades de componentes olorosos ó nocivos.
- Humo.- Varios han sido los métodos considerados para minimizar la emisión de humo en un quemador, entre estos pueden citarse:
  - Atomización de vapor en el gas.
  - Inyección de agua a baja presión.
  - Soplado con aire.
  - Distribución del flujo en múltiples quemadores de especial diseño.

La condición más simple para la combustión sin humo es considerar el principio fundamental de la reacción química entre los hi



drocarburos y el aire.

**Ruido.-** Los niveles aceptables del ruido y los daños potenciales que representa se deben tomar en cuenta en la elección del tipo de desfogue. Existen métodos para determinar en decibeles la intensidad de ruido a determinada distancia de la boquilla de salida del quemador o venteo y esta limitado a 135 db, sin protección de oídos.

**Efectos de radiación.-** Para considerar la localización y altura; se debe considerar los efectos de la intensidad de radiación, proveniente de la disipación de calor de la flama del quemador, sobre el cuerpo humano y sobre equipo metálico en función del tiempo de exposición.

#### 4. Elección del tipo de quemador apropiado al sitio.

Una vez definidas las cargas que puedan verse involucradas en un sistema de desfogue, debe optimizarse el arreglo de equipo, en base a los factores mencionados anteriormente evaluando cuidadosamente los siguientes conceptos:

- Análisis de cargas.
- Espacio disponible.
- Modulación del equipo.
- Simplicidad de componentes.
- Costo del sistema.
- Facilidad de operación.
- Mantenimiento.

Y en el diseño propio de quemadores:

- Dimensionamiento de tubería.
- Tanques separadores de líquidos.
- Tanques de sellos.
- Escalonamiento de sellado.
- Dimensionamiento del quemador:

Elevados: Longitud de flama.

Radiación.

Toxicidad.

Nivel del ruido.

Protección del sistema.

De fosa: Radiación.

Velocidad del gas.

Longitud de flama.

Dimensiones de fosa.

Protección del sistema.

Quemadores elevados.

Como ya se mencionó anteriormente, un quemador elevado es una chimenea o una tubería soportada en cuya punta se lleva a efecto la combustión de gases de desecho.

Los tipos más comunes de quemador elevado son:

1. Quemador tipo torre (Fig.1)
2. Quemador cableado (Fig.2)
3. Quemador autosoportado (Fig.3)

1. El quemador tipo torre es ideal en instalaciones dentro de los-

confines de la planta donde se necesita altura para disminuir la radiación y las distancias respecto a los otros equipos están 11 mitadas. El costo respecto a los otros 2 tipos es mucho mayor, - su elección se basa principalmente en el volúmen de gas manejado ya que se puede obtener mayor robustez que para los otros tipos. Se utiliza en alturas hasta de 120 m.

2. El quemador cableado se utiliza en alturas hasta de 130 m. nece-sarias en quemadores de gran diámetro. Este tipo de quemador, - necesita gran espacio, ya que las anclas de los cables forman un círculo cuyo diámetro es muy similar a la altura del quemador.
3. El quemador autosoportado es el más económico para altura de 72- m. ó menos, es más fácil su erección y ocupa menos espacio ya instalado.

Los factores de diseño que afectan principalmente la estructura - que soportará al quemador elevado son los que se mencionan a - continuación, habiendo cumplido con los requisitos que Ingenie -ría de proceso haya marcado para el diseño propio del quemador - elevado.

a. Dimensionamiento.

Las dimensiones y características del quemador, como su diáme -- tro, longitud de tubería, etc., son datos que se requieren para - definir las dimensiones propias de la torre soporte y su posible preparación de los lugares de soporte de la chimenea ó tubería - de conducción de los gases por tratar.

b. Altura del quemador

b.1 Por radiación.- A partir de la intensidad de radiación de calor proveniente de la flama de un quemador se determinará su altura para que dicha intensidad de radiación no exceda de los valores límite permitidos de exposición para equipo, para personal corta exposición y personal exposición constante.

b.2 Concentración máxima. En el diseño de un quemador se debe tomar en cuenta la suposición de que la flama sea extinguida mientras ocurra un desfogue. Las ecuaciones de difusión están esencialmente basadas en la suposición de que el gas al abandonar el elemento que los conduce toman la dirección del viento y forman un cono horizontal, y en algún punto viento abajo, los gases alcanzan a tocar el suelo y de ahí son rebotados hacia arriba. El punto de concentración máxima de gases es algún punto viento abajo con respecto al punto en que el cono alcanzó el suelo.

b.3 Ruido. El nivel de ruido permisible se establece en 135 db. sin protector de oídos, cuya intensidad se puede calcular a partir de la distancia del punto de descarga a la atmósfera a la base del quemador elevado y de las propiedades del gas a tratar.

B. DATOS DEL QUEMADOR .

1. Localización.

Considerando que el viento predominante en el puerto de Salina Cruz, Oaxaca, lugar donde se encuentra la refinería y quemador en estudio, es de norte a sur y que se han definido las áreas para los distintos equipos de proceso, recipientes para depósito--

de gasolinas y sustancias inflamables, la zona de quemadores se localizó en el límite sur, (ver fig. 4), completamente alejados de las zonas susceptibles de peligro en alguna situación de emergencia, como las mencionadas anteriormente, ya que la acción del viento en el comportamiento de los quemadores es definitiva, como se mencionó en los factores de diseño de quemadores elevados. Las áreas de servicios, equipos, depósitos y de recreo, se pueden observar en la misma fig. 4.

## 2. Geometría.

Una vez realizado el estudio de Ingeniería de Proceso para determinar la altura del quemador, espacio disponible, volúmen de gas a tratar, intensidad de radiación de calor de la flama, etc., y en si todos los factores de diseño ya mencionados anteriormente, se determinó que se requiere de una torre de soporte de 87.00 m. de altura para una tubería de 50.8 cm. de diámetro (20") y de 6.35 mm. de espesor ( $\frac{1}{4}$ ") por la cual se llevará el gas de desecho hasta una altura de 92.00 m. donde se encuentra la boquilla de quemado.

Existen múltiples soluciones para una estructura de soporte y en base a los materiales disponibles, costos de los mismos y tiempo de fabricación, se determinó que debía de ser con perfiles de acero laminados del tipo IPR y con perfiles formados de tres placas, dado que es una estructura cuyas características de operación principal son en emergencia.

Para poder dar mantenimiento a los sistemas de ignición y del

quemador así como a la propia estructura, se requiere de plataformas de operación por lo que se determinaron plataformas de servicio a cada 7.62 mts. de altura, ligadas con escaleras marinas hasta la plataforma superior que se encuentra a 87 mts. de altura a partir del desplante de la estructura.

En base a estructuras de este tipo existentes en otras plantas y refinerías de otros países, (vease ref. 2) se determinó que debía ser de cuatro columnas adoptando una forma piramidal con distancia entre ejes de 8.50 mts. en la base con una inclinación de  $2^\circ$ , hasta distancias de 4.25 mts. entre ejes, y a partir de esta elevación conservar esta distancia entre ejes hasta la última plataforma, con contravientos a tensión, en todas sus caras laterales de entrepiso.

(ver figs. 5a. a 5m).

#### C. DATOS DE LA TORRE DE SOPORTE

##### 1. Plantas

Figuras 5b a 5m.

##### 2. Elevación

Figura 5a.

#### D. CARACTERISTICAS DEL SUELO

##### 1. Estudio de mecánica de suelos

La estructura del quemador elevado es de 8.50 m. x 8.50 m. en la base y una altura de 87 m., con un peso de 80 tons.

Con el fin de orientar la cimentación de la estructura del quemador se realizó un estudio de mecánica de suelos, del cual se hará una breve descripción a continuación:

1.a Exploración

Ejecutada mediante dos sondeos de tipo mixto

1.b Pruebas de laboratorio

A las muestras obtenidas se les realizaron pruebas para obtener tanto propiedades índice como parámetros de resistencia al esfuerzo cortante y de compresibilidad.

1.c Estratigrafía y propiedades de resistencia

Conforme a la exploración y a las pruebas de laboratorio, antes mencionados se elaboraron los perfiles estratigráficos que se muestran en la fig. 6

2. Recomendaciones para cimentación

Se obtuvieron para diferentes dimensiones de zapatas los correspondientes valores mostrados en la tabla 1.

Como conclusión, en base al estudio de mecánica de suelos, se determina que la estructura puede cimentarse sobre zapatas aisladas o corridas, desplantadas a 1.50 mts. de profundidad.

## E. CARGAS BASICAS

Acción es todo agente, externo o inherente a la estructura, cuyos efectos puedan hacer que ésta alcance un estado límite.

Para fines de diseño, las acciones se presentan usualmente por medio de sistemas de cargas y/o deformaciones cuyos efectos sobre la estructura se suponen equivalentes a los de las acciones reales.

En el diseño de una estructura deberá considerarse el efecto combinado de todas las acciones que tengan una probabilidad no despreciable de ocurrir simultáneamente.

(Ver cap. III.2 Combinaciones de Carga Estáticas).

Se consideran tres categorías:

- Acciones permanentes
- Acciones variables
- Acciones accidentales

El valor nominal de una acción es una medida de su intensidad y tiene asociada una probabilidad pequeña y prefijada de ser excedida durante un intervalo de tiempo determinado, excepto cuando los efectos de una acción sean favorables a la estabilidad de la estructura, en cuyo caso el valor nominal de la acción será una intensidad con una probabilidad pequeña y prefijada de no ser alcanzada (Ref. 1 C.1.2)

En el presente trabajo se consideran las siguientes cargas básicas:

- Peso propio y carga muerta (Acción permanente)
- Carga viva (Acción variable)
- Viento (Acción accidental)



- Sismo (Acción accidental)
- Temperatura (Acción variable)

#### 1. Peso propio y carga muerta.

En este concepto esta comprendido el peso propio, tanto de los elementos estructurales como no estructurales, incluyendo instalaciones, plataformas, escaleras y equipo que ocupe una posición fija y permanente en la construcción y el peso estimado de elementos que, posteriormente, puedan colocarse en forma permanente.

En el presente trabajo en el que se utilizó el programa de computadora "SAP" versión IV., se calcula el peso propio de elementos estructurales a través de los datos de áreas de sección transversal y peso volumétrico del material de los mismos que se le proporcionan al programa y una instrucción que el programa tiene para tal efecto y que se detallará mas adelante.

Los efectos de carga muerta que obran sobre la estructura como son el peso de rejillas de plataformas y otras cargas permanentes transmitidas a los elementos estructurales, debido a que el programa no admite cargas en los miembros estructurales sino sólo en los nudos, dichos efectos se tomarán a través de momentos y fuerzas aplicados en los extremos de los elementos, equivalentes a la acción de las cargas intermedias en los mismos. (Ref. 8, apéndice C sección IV. E).

#### 2. Carga viva

La acción de carga viva que obra sobre las plataformas de operación, se toma en cuenta en forma similar que la carga muerta --

descrita anteriormente, a través de sus efectos sobre los miembros estructurales y fuerzas y momentos equivalentes concentrados en los extremos y corresponden a la acción, por ejemplo, - de personal de inspección, materiales de reparación, pintura, etc., para mantenimiento de la estructura siendo evaluada dicha acción como una carga uniformemente distribuida de 375 Kg./M<sup>2</sup>.

### 3. Viento

#### Clasificación de la estructuración

Debido a la característica propia del quemador elevado en relación a su funcionamiento, el cual esta previsto en condiciones de emergencia, esta estructura pertenece al grupo "A" en función del grado de seguridad aconsejable, y en relación a su geometría y respuesta ante el viento como el tipo 3. Por lo tanto se deberá verificar que su período fundamental sea menor de 2 seg.

Por lo anterior, la clasificación de la torre soporte queda como:

Estructura del Grupo "A", Tipo 3

#### Velocidades de diseño

La velocidad del viento de diseño es función de:

- a) Localización Geográfica
- b) Probabilidad de excedencia
- c) Topografía en la vecindad de la estructura
- d) Características de la estructura

Y de las siguientes definiciones de velocidades de viento:

$V_R$  = Velocidad regional. Es la velocidad máxima probable en una zona o región determinada para un cierto período de -

recurrencia.

$V_B$  = Velocidad básica. Es la velocidad que, a una altura de 10-  
metros sobre el terreno, se presenta en el lugar de desplan-  
te de la estructura.

$V_Z$  = Velocidad del viento a una altura Z sobre el terreno.

$V_D$  = Velocidad de diseño a partir de la cual se evalúan los efec-  
tos del viento en la estructura.

De acuerdo a la Fig. 1.1 y de la tabla 1.1 de la Ref. 1, la zona  
eólica correspondiente al lugar del desplante de la estructura -  
en Salina Cruz, Oax., es la 6 y la velocidad regional correspon-  
diente  $V_R$  es 170 Km/hr.

$$V_R = 170 \text{ Km/hr.}$$

La velocidad básica  $V_B$  se obtiene con la siguiente expresión.

$$V_B = K V_R$$

En donde K es un factor que depende de la topografía del sitio y  
conforme a la tabla 1.3 de la Ref. 1 se tomará igual a la unidad  
que corresponde al inciso C de la misma tabla.

La velocidad  $V_Z$  esta dada por las siguientes expresiones:

$$V_Z = V_B \left(\frac{Z}{10}\right)^\alpha \quad \text{Para } 10 < Z < \delta$$

$$V_Z = V_B \quad \text{Para } Z \leq 10 \text{ mts.}$$

$$V_Z = V_\delta \quad \text{Para } Z \geq \delta$$

Las unidades Z y  $\delta$  son metros, y km/hr. para las velocidades

Los valores de  $\alpha$  y  $\delta$  son función de la topografía del lugar y se  
tomarán de la tabla 1.4 de la Ref. 1.

$V_\delta$  es la velocidad que se obtiene al hacer  $Z = \delta$

De la tabla 1.4 tomaremos los valores de  $\alpha$  y  $\delta$  correspondientes  
al inciso a) litoral:

$$\alpha = 0.14$$

$$\delta = 200 \text{ mts.}$$

Para obtener la velocidad de diseño,  $V_D$ , se tomará en cuenta el efecto de rafagas en la estructura multiplicando la velocidad del viento,  $V_Z$ , por un factor de carga  $F_R$ .

$$V_D = F_R \times V_Z$$

El factor de rafaga será de 1.3 para estructuras del tipo 3.

Por último la expresión para la velocidad de diseño en este trabajo es:

$$V_D = 1.3 \times 170 \left(\frac{z}{10}\right)^{0.14} = 221 \left(\frac{z}{10}\right)^{0.14} \quad \text{Para } 10 < z < 200$$

$$V_D = 221 \text{ Km./hr.} \quad \text{Para } z \leq 10$$

$$V_D = V_0 \times 1.3 = 336 \text{ km./hr.} \quad \text{Para } z \geq 200$$

Fuerzas debidas al viento.

Los efectos de viento se tomarán equivalentes a los efectos de una fuerza distribuida sobre el área expuesta. Dicha fuerza se supondrá perpendicular a la superficie en que actúa y su valor por unidad de área se calculará de acuerdo a la expresión:

$$p = 0.0048 G C V_D$$

En donde:

C : Coeficiente de empuje (sin dimensiones).

p : Presión o succión debida al viento, en Kg./m.2.

$V_D$ : Velocidad de diseño en Km./hr.

G :  $\frac{8+h}{8+2h}$ , factor de reducción de densidad de la atmósfera, a la altura h. (en Km.) sobre el nivel del mar.

Para viento actuando normalmente al eje de la pieza, los valores

de dichos componentes se calcularán de acuerdo con las ecuaciones siguientes:

$$FL = 0.0048 G CL B V_D^2$$

$$FT = 0.0048 G CT B V_D^2$$

En donde:

B : Ancho de la superficie expuesta, en m.

CL: Coeficiente de arraste (sin dimensiones)

CT: Coeficiente de empuje transversal (sin dimensiones)

FL: Empuje en la dirección del viento, por unidad de longitud - del elemento estructural, en Kg/m.

FT: Empuje transversal, por unidad de longitud del elemento estructural, en Kg/m.

G : Factor de reducción de densidad de la atmósfera con la altura sobre nivel del mar, que se tomará igual a la unidad.

$V_D$ : Velocidad de diseño, en Km/hr, en donde se incluirá siempre el factor de rafaga de 1.3.

La tabla 1.5 presenta los valores de CL y CT para diversos perfiles (Ref. 1)

También se considerarán los efectos del viento sobre la chimenea y los puntos de contacto o soporte con la estructura a través de los cuales se trasmite la acción del viento sobre la torre soporte, de tal forma que la acción del viento sobre la chimenea y la estructura sea considerada en forma completa, sin considerar los efectos internos en la chimenea.

Se analizan 2 direcciones ortogonales en el sentido más resistente (dirección X-X global) y en la dirección más debil (Dirección Z-Z global) de acuerdo a la orientación de las columnas y sus

respectivos momentos de inercia. (figuras 7 y 8 respectivamente)

Para el cálculo de las fuerzas en los nudos, se considera la mitad de la longitud de todos los miembros que convergen al mismo, que están sujetos a la acción del viento, por lo tanto se calculan las longitudes tributarias de cada miembro en cada nudo y su empuje respectivo calculado con las fórmulas, factores y tablas respectivas mencionadas anteriormente.

Cuando el viento actúa en la dirección "Z", las fuerzas actúan sobre la cara de la torre formada por los nudos 1 y 4 indicados en la planta de anclaje No. 1 y cuando el viento actúa en la dirección "X" las fuerzas actúan sobre la cara de la torre formada por los nudos 1 y 2 indicados también en la misma planta. (ver fig. 9a.)

Como ejemplo se calculará la fuerza debida a viento concentrada en el nudo 43 en la dirección "X" y en la dirección "Z" debido a que este procedimiento se realiza en la misma forma para todos los puntos donde se encuentran las fuerzas debidas a viento.

Ejemplo:

Dirección. "X" :

Elevación : 15.559 mts.

Velocidad de diseño.

$$VD = 221 \left( \frac{15.559}{10} \right)^{0.14} = 235.11 \text{ Km./hr.}$$

$$FL = 0.0048 \text{ CL B } V_o^2 = 0.0048 \text{ CL B } (235.11)^2 = 265.33 \text{ CL B Kg/m.}$$

Los miembros que convergen al nudo 43 son:

Sección	Ancho	Coficiente	Empuje	Longitud	Fuerza	Fuerza
Transversal	B.	CL	FL	Tributaria	Tributaria	Total
	m.		Kg./m.	m.	Kgs.	Kgs.
HPC 14" x 14"	0.356	1.81	170.97	3.926	671.22	
APS 4" x 4"	0.102	1.83	49.53	5.504	272.60	
IPR 10 $\frac{1}{4}$ " x 5 3/4"	0.260	2.04	140.60	3.726	523.80	2289.90
APS 4" x 4"	0.102	1.83	49.53	5.237	259.40	
HPC 14" x 12"	0.305	1.81	146.50	3.815	558.80	

Dirección "2"

Los miembros que convergen al nudo 43 son:

APS 14" x 14"	0.356	2.04	192.69	3.923	755.93	
APS 4" x 4"	0.102	1.83	49.53	5.504	272.61	
IPR 10 $\frac{1}{4}$ " x 5 3/4"	0.260	2.04	140.73	3.726	524.36	2546.80
APS 4" x 4"	0.102	1.83	49.53	5.237	259.36	
IPR 14" x 12"	0.356	2.04	192.69	3.812	734.54	

#### 4. Sismo.

Como se menciona en la Ref. 1, existen grandes incertidumbres - en la estimación tanto de las características de movimientos sísmicos, como del comportamiento y capacidad de los elementos estructurales ante ellos, que hacen que no sea posible establecer, dentro de límites racionales y económicos, criterios de diseño - que garanticen la ausencia de daños en una estructura ante la acción de cualquier temblor. Por lo tanto, el objeto del diseño por sismo es, minimizar daños y preservar la vida humana. En base a lo anterior se seguirán los pasos para el diseño por sismo que se indican en la misma referencia.

##### Clasificación de la estructura.-

Atendiendo a las características propias del quemador elevado en relación a su funcionamiento, el cual está previsto en condiciones de emergencia cuando ocurran posibles fallas de equipo, como podría ser cuando ocurriera algún sismo o temblor o inmediatamente después de este, se debe clasificar la estructura de soporte del quemador elevado dentro del grupo "A", y atendiendo a su estructuración y de acuerdo a lo descrito en el manual de Ref. dentro de estructuras del tipo 1.

##### a. Regionalización Sísmica.

De acuerdo a la regionalización sísmica de la República Mexicana y la localización de la estructura, la zona sísmica correspondiente a Salina Cruz, Oax. es la "D".

##### b. Clasificación del terreno de cimentación.



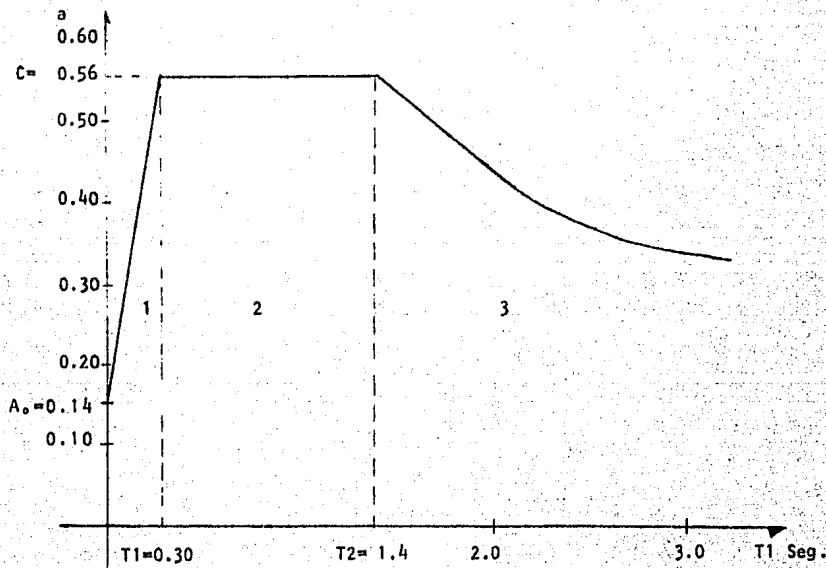
De acuerdo al estudio del suelo efectuado en el lugar, descrito ya anteriormente, el tipo de suelo que corresponde a las características de éste es un tipo de terreno II.

c. Coeficiente sísmico y espectro de diseño.

El coeficiente sísmico expresado como función del periodo de vibración de la estructura, o de sus modos, es el espectro de diseño de aceleraciones.

La tabla 1.1. de la Ref. 1, presenta los valores y formas que debe tomar el espectro de diseño, tomándose en cuenta la región sísmica y el tipo de terreno de cimentación y que para estructuras del grupo "A", los valores de las ordenadas espectrales se deben multiplicar por 1.3.

El espectro de diseño de aceleraciones queda como sigue:



Zona sísmica D.

Tipo de suelo II.

Factor de escala en la dirección "Z" = 1.3

Factor de escala en la dirección vertical =  $1.3 \times 0.75 = 0.975$

Para la zona 1  $a = a_0 + \frac{C-a_0}{T_1} T = 0.14 + 1.4 T$

Para la zona 2.  $a = C = 0.56$

Para la zona 3.  $a = C \left(\frac{T_2}{T}\right)^r$

En donde:  $= 0.56 T^{(1.4)} \frac{2}{3}$

a : Ordenada espectral

a<sub>0</sub>: Ordenada espectral para T= 0

C : Coeficiente sísmico básico.

r : Exponente adimensional.

T : Período natural de la estructura o uno de sus modos, en segundos.

El análisis sísmico dinámico espectral lo lleva a cabo el programa SAP-IV calculando las características dinámicas de la estructura como se explica ampliamente en el capítulo III sección C.3. más adelante.

##### 5. Temperatura.

Los efectos provocados por cambios de temperatura, debido al tipo de estructuración y longitudes de sus miembros, no se consideran críticos dado que las longitudes mayores se encuentran en la dirección vertical y en esta dirección no se encuentran restricciones específicas más que su propio peso, por lo tanto y debido

a que la estructura esta totalmente expuesta a la intemperie y -  
no existen variaciones de temperatura que afecten en forma dis -  
tinta a las diferentes partes de la estructura, no se presenta -  
rán esfuerzos internos de consideración bajo este concepto.

### III. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA TORRE DE SOPORTE.

#### A. Estructuración.

El sistema se encuentra modelado como una estructura en tres di- mensiones, dadas las características del programa con el cual se realiza el análisis, debido a que este permite tomar en cuenta - desplazamientos de nudos y elementos mecánicos en tres direc- ciones, en el espacio.

Las columnas y las traveses principales se idealizan como elemen- tos continuos, trabajando a flexión, torsión y cortante. Las - uniones entre estos elementos se tomaron como conexiones rígidas. Tanto en sentido vertical como en sentido horizontal existen con- traventeos, los cuales se modelaron, por sus características, co- mo barras articuladas en sus extremos y por lo tanto, únicamente trabajando a fuerza axial de tensión en ambos sentidos.

En sus diversos niveles de operación se encuentran plataformas a base de rejillas soldadas, de acero, asentadas sobre traveses principales y traveses secundarias, las que se modelaron como vigas articuladas. en sus extremos.

La tubería del quemador en algunos de estos niveles se apoya so- bre traveses secundarias, en cuyos puntos de contacto, de la chime- nea y estructura soporte se consideraron fuerzas de descarga de la chimenea debidas a viento y masa tributaria para análisis sfs- mico.

## B. MODELOS PARA ANALISIS

### 1. Modelo Analítico

La fase de diseño preliminar involucra también un análisis que implica la elaboración de un modelo analítico con ciertas hipótesis, de un modelo matemático que pretende establecer una relación entre acciones y respuestas y una idea de su comportamiento en términos de desplazamientos, acciones mecánicas o esfuerzos internos. Si existe algún cambio en el diseño, este cambio puede originar alguna variación en el modelo analítico, lo cual involucra cambios de diseño, o bien, un cambio solamente en el modelo matemático, lo cual implicará un nuevo diseño.

Hipótesis para nuestro modelo analítico:

- a. Los esfuerzos actuantes se calcularán suponiendo comportamiento elástico del material.
- b. Los esfuerzos actuantes corresponden a la combinación de acciones permanentes y cargas vivas nominales. Bajo la combinación de acciones permanentes, cargas vivas y una carga accidental, los valores admisibles se incrementarán 33 por ciento.
- c. Los valores de los esfuerzos admisibles serán los que establecen las especificaciones para diseño, fabricación y erección de edificios de estructuras de acero del "American Institute of Steel Construction", ref. 5.
- d. El contraventeo vertical en las caras laterales proporcionado por secciones de ángulos metálicos espalda con espalda, que van de la esquina inferior a la esquina superior contra-

ria del entrepiso sólo trabajarán a tensión, razón por la --  
cual en el modelo matemático sólo se considera un contravenu-  
teo eliminando el que trabajaría en compresión.

- e. El nudo correspondiente al cruce del contraventeo en las ca-  
ras laterales sólo se considerará en la determinación de las  
longitudes efectivas de miembros sujetos a esfuerzo de ten -  
sión.
- f. Los nudos entre vigas y columnas se consideraran con sufi --  
ciente rigidez para evitar las rotaciones relativas entre -  
los extremos de los elementos que concurren al nudo.

## 2. Modelo Matemático.

Un análisis estático involucra la solución de la ecuación de e -  
quilibrio.

$$KD = F$$

Seguida del cálculo de esfuerzos en los elementos.

A partir de las propiedades mecánicas y geométricas de los ele -  
mentos estructurales se forma la matriz de rigideces, mientras -  
que son ensamblados los vectores de fuerzas. La solución de e -  
cuaciones es obtenida usando la gran capacidad de solución de e -  
cuaciones lineales del sistema SESOL. Esta sub-rutina usa el eli-  
minación de Gauss en su sistema de ecuaciones simétrico definido  
positivo. El algoritmo realiza un número mínimo de operaciones  
por ejemplo, no hay operaciones con elementos cero.

Después de que han sido evaluados los desplazamientos en los nu-

dos, son leídos de la memoria, las matrices esfuerzo - desplazamiento y son calculados los esfuerzos de los elementos.

Análisis dinámico.

En análisis de respuesta dinámica se requiere la solución de la ecuación.

$$M\ddot{D} + C\dot{D} + KD = F(t)$$

donde  $F(t)$  puede ser un vector de fuerzas arbitrarias variando en el tiempo o fuerzas efectivas los cuales resultan del movimiento del suelo. Específicamente en el caso del movimiento del terreno, si se asume que la estructura es uniformemente sometida a aceleraciones del suelo  $\ddot{D}_g$ , las ecuaciones de equilibrio consideradas son:

$$M\ddot{D}_r + C\dot{D}_r + KD_r = -M\ddot{D}_g$$

donde  $D_r$  es el desplazamiento relativo de la estructura con respecto al suelo, por ejemplo:

$$D_r = D - D_g.$$

Por medio del programa se efectúa un análisis de espectro de respuesta para la solución de la última ecuación. Dicho análisis necesita por supuesto, primero la solución del sistema característico requerido.

En este análisis el vector de aceleración del terreno en la ecuación anterior es escrita como:

$$\ddot{D}_g = (\ddot{D}_{g_x} + \ddot{D}_{g_y} + \ddot{D}_{g_z})$$

Donde  $\ddot{D}_{g_x}$ ,  $\ddot{D}_{g_y}$  y  $\ddot{D}_{g_z}$  son los componentes de aceleración en las direcciones X, Y y Z respectivamente.

Usando la definición de desplazamiento espectral, el máximo desplazamiento absoluto modal de la estructura sometida a una aceleración en la dirección X es.

$$D_{r_x}^{(max.)} = \phi_r \left| \phi_r^T M 1_x \right| S_x(\omega_r)$$

Donde  $S_x(\omega_r)$  es el desplazamiento espectral en la dirección X correspondiente a la frecuencia  $\omega_r$  e  $1_x$  es un vector nulo excepto en aquellos elementos que son iguales a uno, el cual corresponde a un grado de libertad traslacional en X. Similarmente para las respuestas debidas a una aceleración del suelo en las direcciones Y y Z.

$$D_{r_y}^{(max)} = \phi_r \left| \phi_r^T M 1_y \right| S_y(\omega_r)$$

$$D_{r_z}^{(max)} = \phi_r \left| \phi_r^T M 1_z \right| S_z(\omega_r)$$

y la máxima respuesta total en el r'ésimo modo es tomada como:

$$D_{r'}^{(max)} = ( D_{r_x}^{(max)} + D_{r_y}^{(max)} + D_{r_z}^{(max.)} )$$

El programa calcula las máximas respuestas en cada uno de los modos p. donde los desplazamientos o aceleraciones espectrales en las direcciones X, Y y Z, son tomados proporcionalmente. La respuesta total para desplazamiento y esfuerzo resultante se calcula como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de la máxima respuesta modal.

### C. ANALISIS DE LA ESTRUCTURA.

#### 1. Descripción del programa de computadora SAP-IV.

El desarrollo de un programa efectivo de computadora para análisis estructural requiere del conocimiento de tres disciplinas -



científicas: mecánica estructural, análisis numérico y aplicación de las computadoras. El desarrollo de elementos estructurales precisos y eficientes requiere de antecedentes modernos en mecánica estructural. La eficiencia de un programa depende en gran parte de las técnicas numéricas empleadas y su efectiva implementación en la computadora. En cuanto a las técnicas de programación, es necesaria una óptima distribución de dispositivos de almacenaje con alta y baja velocidad.

Uno de los aspectos más importantes de un programa de computadora es, sin embargo, la facilidad con la cual puede ser modificado, de otra forma puede ser que el programa sea obsoleto unos pocos años después de haber sido terminado. Esto es debido a que son desarrollados nuevos elementos estructurales, se dispone de mejores procedimientos numéricos o se producen nuevos equipos de computación, los cuales requieren nuevas técnicas de codificación.

El programa de análisis estructural SAP fue diseñado para ser modificado por el usuario. Pueden ser fácilmente añadidas opciones adicionales y nuevos elementos.

El programa tiene la capacidad de analizar sistemas tridimensionales bastante grandes, sin embargo no pierde eficiencia en la solución de problemas muy pequeños.

También del programa completo se pueden ensamblar fácilmente programas más pequeños para propósitos especiales usando simplemente sólo aquellas subrutinas que se necesitan en la ejecución.

Esto hace particularmente aprovechable al programa en microcomputadoras.

La versión del programa SAP IV usada para el análisis estático y dinámico de sistemas estructurales lineales es el resultado de varios años de investigación y desarrollo experimental. El programa ha demostrado ser una muy flexible y eficiente herramienta de análisis. El programa está codificado en FORTRAN y opera -- sin modificaciones en computadoras CDC-6400, 6600 y 7600 y hay versiones disponibles en equipos Burroughs e I.B.M.

El sistema estructural a ser analizado puede estar compuesto por un número diferente de elementos estructurales. El programa usado contiene 12 diferentes tipos de elementos estructurales, de los cuales sólo dos se usarán para analizar la estructura, que son barras y vigas tridimensionales.

Estos elementos estructurales pueden ser usados en un análisis estático o dinámico. La capacidad del programa depende principalmente del número total de nudos en el sistema, del número de valores característicos requeridos en el análisis dinámico y de la computadora empleada. Prácticamente no hay restricción en el número de elementos, el número de casos de carga o el orden y el ancho de banda de la matriz de rigideces. Cada nudo en el sistema puede tener de cero a seis grados de libertad. Las matrices de rigideces y de masas son ensambladas en forma condensada, por lo tanto el programa es igualmente eficiente en el análisis de sistemas en una, dos o tres dimensiones.

La formación de las matrices de la estructura es llevada a cabo de la misma manera en un análisis estático o dinámico. El análisis estatico continua resolviendo las ecuaciones de equilibrio, seguido del cálculo de esfuerzos en los elementos. En un análisis dinámico la opción es entre:

1. Cálculo de frecuencias.
2. Cálculo de frecuencias, seguido de análisis de historia de respuesta.
3. Cálculo de frecuencias, seguido de análisis de espectro de respuestas.
- 4.- Análisis de historia de respuestas por integración directa.

Para obtener las frecuencias y los modos de vibración se lleva a cabo la solución de valores y vectores característicos requeridos.

Esta forma de operación del programa y entrada de datos para un análisis dinámico es una simple adición de lo que se necesita para un análisis estático.

## 2. Combinaciones de Carga Estáticas.

Las combinaciones de acciones de diseño, se especifican en la Ref. 1, en donde se describen los criterios adoptados por los ordenamientos de mayor uso en el medio y que consideran dos categorías de combinaciones:

1. Combinaciones que incluyen acciones permanentes y variables.
2. Combinaciones que incluyen acciones permanentes, variables y

accidentales.

La norma ANSI.A.58.1 establece que la seguridad de una estructura deberá revisarse para las combinaciones que a continuación se listan:

- a)  $S_m$
- b)  $S_m + S_v$ .
- c)  $S_m + (S_w \text{ o } S_s)$
- d)  $S_m + S_t$
- e)  $S_m + S_v + (S_w \text{ o } S_s)$
- f)  $S_m + S_v + S_t$ .
- g)  $S_m + (S_w \text{ o } S_s) + S_t$ .
- h)  $S_m + S_v + (S_w \text{ o } S_s) + S_x$ .

En términos de las condiciones de cargas básicas siguientes:

$S_m$  = Carga muerta.

$S_v$  = Carga viva.

$S_w$  = Acción debida a viento.

$S_s$  = Acción debida a sismo.

$S_t$  = Acción debida a temperatura.

$S_x$  = Cargas, fuerzas y efectos debidas a contracción o a expansión por cambios de temperatura o de humedad, flujo plástico movimientos debidos a asentamientos diferenciales, o cualquier combinación de estos efectos.

Los efectos totales de las acciones combinadas pueden multiplicarse por el siguiente factor reductivo:

- 1) Combinaciones a) a la d) : 1.0 (no se admite reducción).

2) Combinaciones e), f) y g): 0.75

3) Combinación h): 0.66

La revisión de la seguridad se hizo con el criterio de esfuerzos admisibles.

Si se utilizan los factores reductivos que se mencionaron anteriormente en los efectos totales de las acciones combinadas, no es permitido incrementar los valores de los esfuerzos admisibles. En el presente trabajo no se utilizaron los factores reductivos sino que se optó por incrementar los valores de los esfuerzos admisibles en 33 por ciento, cuando en la combinación se incluyan cargas accidentales como viento o sismo, como se indica en la sección 1.5.6. de las especificaciones del AISC, ref. 5, que son congruentes con lo indicado en la ref. 1.

Las combinaciones de cargas básicas que se consideraron en el presente trabajo son:

Combinación de Carga 1:  $S_m$ .

Combinación de Carga 2:  $S_m + S_v$ .

Combinación de Carga 3:  $S_m + S_{wz}$  (Viento en dirección "Z")

Combinación de Carga 4:  $S_m + S_v + S_{wz}$

Combinación de Carga 5:  $S_m + S_{wx}$  (viento en dirección "X")

Combinación de carga 6:  $S_m + S_v + S_{wx}$ .

Todas estas combinaciones evaluadas por el programa de computadora para análisis estructural SAP-IV.

### 3. Análisis sísmico dinámico espectral.

Como ha sido establecido por Hudson (1956) y otros, el concepto de espectro de respuesta sísmica proporciona un camino simple para evaluar la máxima respuesta de estructuras que tienen un solo grado de libertad. Sin embargo, ya que la respuesta de varios modos de vibración en un sistema de múltiples grados de libertad puede ser calculado como si cada uno fuera un sistema separado de un grado de libertad, de esta forma la respuesta individual máxima modal puede ser obtenida del espectro de respuesta. La respuesta máxima total de la estructura no puede ser obtenida simplemente superponiendo las respuestas individuales máximas modales porque estas no ocurren simultáneamente.

La técnica que utiliza el programa SAP-IV es la propuesta por Goodman, Rosenblueth, Newmark (1955) que consiste en calcular las respuestas máximas mediante la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las correspondientes cantidades, máximas modales, sean estas velocidades, aceleraciones, desplazamientos o elementos mecánicos internos de la estructura. Estos valores de respuesta máxima de la estructura constituyen una envolvente máxima en valor absoluto.

Para examinar la exactitud de varias técnicas para evaluar la respuesta sísmica de estructuras, incluyendo la que se utilizó en el presente trabajo descrita anteriormente, se puede consultar la ref. 9 en donde se mostró que de las técnicas aproximadas comparadas con el análisis exacto la de "La raíz cuadrada de la suma de los cuadrados" fue la que mejor aproximación mos-

tró.

Los modelos analíticos y matemáticos que el programa SAP-IV utiliza para calcular las propiedades dinámicas de la estructura se expusieron en la sección B.1 y 2 Capítulo III, anteriormente.

#### 4. Datos para análisis al programa SAP-IV.

En esta sección se dará una secuencia resumida de los datos que se le proporcionan al programa, tanto para análisis estático como para análisis dinámico.

##### Análisis estático:

1. Se da la información que se quiere sea impresa en la salida de resultados como encabezado para identificación de la corrida.
2. Se continúa con una tarjeta de control en la que se dan algunos datos e instrucciones a través de claves que el programa tiene y se indican en el manual de operación del programa (ref.8) como se indica a continuación:
  - Número total de nudos en el modelo.
  - Número de grupos de elementos.
  - Número de casos de carga estáticas en la estructura.  
(Se indica un cero si el tipo de análisis es cualquiera de las cuatro opciones dinámicas que el programa tiene).
  - Número de frecuencias a ser encontradas en la solución de valores característicos (Se indica un cero para análisis estático).

Se indica, según el código, el tipo de análisis a realizar.  
Se indica, según el código, el modo de ejecución del programa, ya sea la solución del problema completo o solamente el chequeo o verificación de los datos.

3. Datos de los nudos.

- Símbolo que describe el sistema de coordenadas a utilizar, se deja en blanco si el sistema es cartesiano o se indica una C si son coordenadas cilíndricas.
- Número del nudo.
- Código para indicar las condiciones de frontera del nudo.
- Coordenadas del punto según el sistema empleado.
- A continuación se indican los datos de los diferentes tipos de elemento estructural que para nuestro ejemplo son el elemento barra y el elemento viga.

4. Tarjeta de control de elementos tipo barra en donde se indica:

- Código de elemento barra que es el Número 1
- Número total de elementos barra.
- Número de tarjetas que indican las propiedades de material, de los elementos barra.

4.1 Tarjetas de propiedades de material, en donde se indica:

- Número de identificación del material.
- Módulo de elasticidad.
- Coeficiente de expansión térmica.
- Densidad de masa.
- Área de la sección transversal.



- Densidad de peso.
- 4.2 Multiplicadores de carga de gravedad en la dirección "X" para -  
los casos de carga A, B, C y D.
- 4.3 Idem anterior en la dirección "Y"
- 4.4 Idem anterior en la dirección "Z"
- 4.5 Se indica la fracción de los efectos de temperatura que se adic-  
ciona a los casos de carga A, B, C y D.
- 4.6 Se indican los elementos barra y sus datos:
- Una tarjeta para cada elemento en donde se indica:
  - Número del elemento.
  - Nudo origen de la barra.
  - Nudo a donde termina o llega la barra.
  - Número de tarjeta de material correspondiente.
  - Temperatura de referencia para esfuerzo igual a cero; o se deja  
en blanco si no se van a tomar efectos de temperatura.
5. Tarjeta de control de elementos tipo viga en donde se indica:
- Código del elemento tipo viga que es el número 2.
  - Número total de elementos tipo viga.
  - Número de tarjetas que indican las propiedades de sección trans  
versal de los elementos tipo viga.
  - Número de juegos de cargas aplicados en los elementos en sus ex  
tremos.
  - Número de tarjetas que indican las propiedades de material, de-  
los elementos tipo viga.
- 5.1 Tarjetas de propiedades de material en donde se indica:

- Número de identificación del material.
- Módulo de Young.
- Modulo de Poisson
- Densidad de masa.
- Densidad de peso.

5.2 Tarjetas que indican las propiedades de sección transversal en donde se indica:

- Número correspondiente al grupo de propiedades geometricas de la sección transversal.
- Area de la sección transversal.
- Area de cortante asociada a la dirección del eje local 2.
- Area de cortante asociada a la dirección del eje local 3.
- Inercia torsional respecto al eje local 1, axial.
- Inercia a flexión respecto al eje local 2.
- Inercia a flexión respecto al eje local 3.

5.3 Multiplicadores de carga de gravedad en la dirección "X" para los casos de carga A, B, C y D.

5.4 Idem anterior en la dirección "Y"

5.5 Idem anterior en la dirección "Z"

5.6 Juegos de carga aplicados a los elementos viga en sus extremos que consiste de dos tarjetas para cada juego, en donde se indica:

1a. tarjeta:

- Número del juego de carga.
- Fuerza aplicada en la dirección local 1 en el nudo 1 del elemen

to.

- Fuerza aplicada en la dirección local 2 en el nudo i del elemen  
to.
- Fuerza aplicada en la dirección local 3 en el nudo i del elemen  
to.
- Momento aplicado en la dirección local 1 en el nudo i del ele -  
mento.
- Momento aplicado en la dirección local 2 en el nudo 1 del ele -  
mento.
- Momento aplicado en la dirección local 3 en el nudo i del ele -  
mento.

2a. tarjeta.

Como corresponde al mismo juego de carga se omite el número del juego.

- Fuerza aplicada en la dirección local 1 en el nudo j del elemen  
to.
- Fuerza aplicada en la dirección local 2 en el nudo j del elemen  
to.
- Fuerza aplicada en la dirección local 3 en el nudo j del elemen  
to.
- Momento aplicado en la dirección local 1 en el nudo j del ele -  
mento.
- Momento aplicado en la dirección local 2 en el nudo j del ele -  
mento.
- Momento aplicado en la dirección local 3 en el nudo j del ele -

mento.

Se introducen tantos pares de tarjetas como juegos de cargas se requieran con sus respectivos datos.

5.7 Datos para los elementos viga en donde se indica:

Número de elemento.

Nudo i de donde va el elemento al:

Nudo j donde llega el elemento.

Nudo k para orientar el eje local 2. k es cualquier punto nodal contenido en el plano formado por los ejes 1 y 2, pero no sobre el eje local 1.

Número de material correspondiente, definido anteriormente.

Número del juego de propiedades de sección transversal correspondiente al elemento definido anteriormente.

Se indica el número de juego de carga asignado al elemento en cualquiera de los casos de carga A, B, C ó D, para los cuales se les asigna un campo específico.

A continuación se indica, según el código interno, la relajación de los extremos de los elementos para resistir fuerzas y momentos en las direcciones locales.

6. Fuerzas concentradas en los nudos, para análisis estático o masas concentradas en los nudos, para análisis dinámico.

6.1 Una tarjeta para cada fuerza concentrada y para cada condición de carga, es decir que una fuerza aplicada en un punto nodal puede pertenecer a una o varias condiciones de carga, en donde se indica:

Punto nodal donde se aplica la carga.

- Número de condición de carga correspondiente.
  - Magnitud de la fuerza en la dirección "X" global.
  - Magnitud de la fuerza en la dirección "Y" global.
  - Magnitud de la fuerza en la dirección "Z" global.
  - Magnitud del momento aplicado en la dirección "X" global.
  - Magnitud del momento aplicado en la dirección "Y" global.
  - Magnitud del momento aplicado en la dirección "Z" global.
7. Multiplicadores de carga para las distintas condiciones de carga (Referentes a su combinación con los casos de carga A, B, C, y D.)

#### ANALISIS DINAMICOS.

Para análisis dinámico practicamente son los mismos datos que para un análisis estático, con diferencias en codigos de instrucción y datos requeridos por la naturaleza propia del análisis que a continuación mencionamos haciendo referencia al punto correspondiente de la secuencia para análisis estático dada anteriormente, indicando sólo lo que cambia:

1. Igual para análisis dinámico.
2. No se indica número de casos de carga, en su lugar se indica un cero.
  - Se indica el número de frecuencias que se quiere sean encontradas.
  - Se indica el tipo de análisis dinámico requerido según el código de programa, para nuestro ejemplo es el número 3.

3. Igual para análisis dinámico.
4. La sección de multiplicadores de carga de gravedad se cancela para análisis dinámico (secciones 4, 2, 4.3, 4.4 se cancelan) La sección 4.5 de efectos de temperatura también se cancelan para análisis dinámico.  
  
La sección 4.6 referente a temperatura de referencia para es -- fuerza igual a cero se cancela.
5. La sección de juegos de carga aplicados a los elementos también se cancela, y en donde dice número de juegos de cargas aplicados a los elementos se deja en blanco.  
  
La sección de multiplicadores de carga de gravedad se cancela - (sección 5.3, 5.4 y 5.5).  
  
No deben de ir los juegos de carga aplicados a los elementos -- (sección 5.6)  
  
En la sección 5.7 no se debe indicar el juego asignado a los e- elementos tipo viga, se dejan en blanco.
6. En lugar de fuerzas concentradas en los nudos, se concentran ma sas correspondientes a cualquier carga permanente diferente del peso propio de la estructura ya que este lo calcula y concentra el propio programa de nudos.
7. La sección de multiplicadores de carga se cancela y en su lugar va una tarjeta en blanco.
8. Se continúa con una tarjeta de control para análisis dinámico - en cualquiera de las 4 opciones del programa, que puede ir en - blanco si no se requiere alguna información adicional que se -

puede obtener en esta sección, como la impresión de matrices - intermedias calculadas durante la solución de valores caracte - rísticos.

9.1 Para el análisis de espectro de respuesta en la siguiente tarje - ta de control se le debe dar la siguiente información:

Factor de participación para la dirección "X"

Factor de participación para la dirección "Y".

Factor de participación para la dirección "Z".

Y se define el tipo de espectro de diseño con el que va a traba - jar el programa, sea este de desplazamientos o de aceleracio - nes.

A continuación se indican las características del espectro a - utilizar de la siguiente forma:

9.2 Una tarjeta de comentarios para encabezar el espectro de diseño en la información de salida de la corrida.

9.3 La siguiente tarjeta de control sirve para definir el número de puntos del espectro de diseño que se le van a dar y el fac - tor de escala que se debe aplicar a las ordenadas del espectro de diseño. Se debe indicar 1.0 si no se afectan estas ordena - das.

9.4 A continuación se dan los puntos que definen el espectro de di - seño en función del período "T" y la ordenada "S" de acelera - ción.

## 5. Resultados del análisis con el programa SAP-IV

Los resultados de la corrida del programa para análisis estático, además de la impresión de los datos que se le dieron del problema estructural, lo constituyen los desplazamientos de los nudos de la estructura y los elementos mecánicos internos en -- los extremos  $i$  y  $j$  de los elementos estructurales debidos a cada condición o combinación de cargas básicas de carga, esto es, que podemos conocer su compartimiento estructural referente a deformación y el nivel de esfuerzos en los elementos estructurales, para todas las solicitaciones de carga que hayamos requerido.

Del análisis dinámico espectral, básicamente se obtienen los -- mismos resultados, esto es, desplazamientos y elementos mecánicos internos, debidos en este caso a la combinación de las respuestas máximas modales, calculandose esta combinación como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las respuestas máximas modales, evaluados a través de los modos y el espectro de diseño proporcionado, esto es:

$$R = \sqrt{R_i^2}$$

$R$  = Vector de respuesta estructural

$R_i$  = Vector de respuestas máximas para el modo  $i$ .

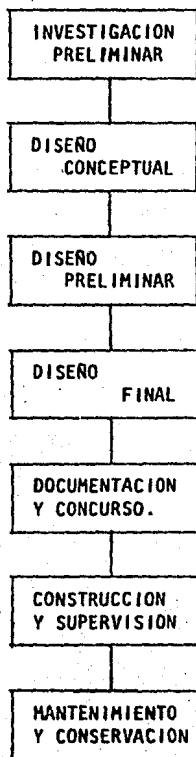
En el anexo I se presenta una parte de la impresión de la salida de resultados de análisis estático y de análisis dinámico modal espectral.



#### IV. DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DE LA ESTRUCTURA.

##### A. Criterios de dimensionamiento.

En términos generales, el proceso de diseño lo podemos dividir en siete fases:



La fase de Investigación preliminar, debe iniciarse con un trabajo interdisciplinario, en la que esencialmente se hace la inspección al sitio, se desarrollan una serie de estudios para de-

terminar requerimientos y establecer arreglos iniciales entre áreas, edificios o equipos.

Posteriormente, dentro del flujo de trabajo, viene la fase de diseño conceptual, en la que esencialmente se plantea la evolución de la forma estructural y sus efectos en otras especialidades.

Se establece una elección de materiales de acuerdo con las condiciones de cada sitio, aspectos constructivos que involucran la disponibilidad de materiales, equipo y gente especializada y no especializada. Finalmente se tiene la selección de los sistemas estructurales factibles para usar en un determinado caso. (ref. 7.)

Proponer las características geométricas y materiales de los elementos estructurales de manera que su resistencia sea por lo menos igual a los efectos de las acciones y no se violen los requisitos ya establecidos. El análisis estructural y el dimensionamiento constituyen un proceso iterativo de prueba y error que converge cuando las características propuestas de los elementos estructurales satisfacen todos los requisitos de seguridad y servicio establecidos para el estructura.

La fase de diseño preliminar involucra un análisis estructural aproximado para varias alternativas con estimación de secciones iniciales que no solamente obedecerán a la acción de la gravedad, sino también se determinarán con base en los costos. Con el propósito de hacer una revisión de estas alternativas inicia

les, y finalmente llegar a una selección para un sistema que se analizará en forma más detallada, en la fase de diseño final - que involucra la definición más precisa de cargas, el hacer un análisis más detallado y el proceder al dimensionamiento de todos los elementos que conforman el sistema, así como efectuar una serie de revisiones para verificar si satisfacen o no los requisitos de servicio o de estados límite. (ref. 7).

#### 1. Estados límite.- (ref. 1)

Los requisitos de seguridad y servicio para una estructura se establecen mediante la definición de estados límite los cuales estipulan los comportamientos inaceptables de la misma.

##### Definición:

Estado límite es la etapa del comportamiento de una estructura a partir de la cual ésta, ó alguna de sus partes, deja de cumplir con la función para la que fué proyectada.

Los estados límite pueden dividirse en estados límite de falla (relacionados con la seguridad de la estructura) y en estados límite de servicio (relacionados con el funcionamiento adecuado de la misma). Los primeros, a su vez, se subdividen en estados de falla dúctil y falla frágil.

Estados límite de falla.- Corresponden al agotamiento definitivo de la capacidad de carga de la estructura, o de cualquiera de sus elementos, o bien a la etapa en que, debido a los efectos de acciones pasadas, dicha capacidad, sin ser agotada, no -

es suficiente para soportar los efectos de acciones futuras.

Cuando la capacidad de carga de la estructura, elemento o sección considerada, se mantenga para deformaciones apreciablemente mayores que las existentes al alcanzar el estado límite, se considerará que este corresponde a falla dúctil. Un estado límite corresponde a falla frágil cuando, al ser éste alcanzado, se reduce bruscamente la capacidad de carga de la estructura, elemento o sección considerada.

Estados límite de servicio.- Corresponden a etapas de deformaciones, agrietamientos, vibraciones o daños que afectan el correcto funcionamiento de la estructura o sus instalaciones, pero no la capacidad para soportar cargas.

## 2. Esfuerzos admisibles.

Los diferentes criterios y esfuerzos admisibles que se utilizaron en el presente trabajo son los que se definen en las especificaciones del "American Institute of Steel Construction", 8ª edición ref. 5.

A continuación se indican para cada tipo de esfuerzo, los criterios y forma de obtener los esfuerzos admisibles, así como la sección del AISC a la que se refiere en cada caso, si se desea mayor información.

### a. Tensión. (Secciones 1.8.4, 1.5.1.1, 1.5.6)

Para miembros sujetos a tensión, la relación de esbeltez  $l/r$ , preferiblemente no excederá los siguientes valores:

Para miembros principales----- $l/r \leq 240$

Para miembros secundarios, contravientos o

arriostramientos laterales----- $l/r \leq 300$

El esfuerzo a tensión admisible,  $F_t$ , no excederá de los siguientes valores:

$$F_t = 0.60 F_y = 0.60 \times 2531 = 1518 \text{ kg/cm}^2$$

para combinaciones de cargas permanentes y variables.

$$F_t = 0.60 F_y \times 1.33 = 0.60 \times 2531 \times 1.33 = 2020 \text{ kg/cm}^2$$

para combinaciones de carga que incluyan una carga accidental, sea por ejemplo viento o sismo, ambos esfuerzos admisibles --- aplicados al área total de la sección transversal; ni tampoco:

$$F_t = 0.50 F_u = 0.50 \times 4078 = 2039 \text{ kg/cm}^2$$

como en el caso anterior para combinaciones de cargas permanentes y variables y

$$F_t = 0.50 F_u \times 1.33 = 0.50 \times 4078 \times 1.33 = 2712 \text{ kg/cm}^2$$

para combinaciones de carga que incluyan una carga accidental, como viento o sismo, solo que en estos 2 últimos casos aplicados al área neta efectiva de la sección transversal.

b. Compresión. (Secciones 1.8.4, 1.5.1.3, 1.5.6 y 1.9)

Para miembros en compresión la relación de esbeltez  $kl/r$  máxima no deberá exceder el valor de 200, es decir  $kl/r = 200$

El esfuerzo admisible a compresión  $F_a$  está dado por:

$$F_a = \frac{\left[ 1 - \frac{(kl/r)^2}{2Cc^2} \right] F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3}{8} \frac{(kl/r)^2}{Cc} - \frac{(kl/r)^3}{8 Cc^3}} \quad (1.5 - 1)$$

En donde:

$$Cc = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} = 126.1 \text{ para acero A-36}$$

Cuando el valor de  $kl/r$  excede el valor de  $Cc$ , el esfuerzo permisible a compresión  $F_a$  está dado por:

$$F_a = \frac{2\pi^2 E}{23 (kl/r)^2} \quad (1.5 - 2)$$

Para acero A-36, se puede utilizar la tabla 3-36 del manual AISC para determinar el esfuerzo admisible a compresión  $F_a$ , mediante el valor de  $kl/r$ .

c. Flexión. (Secciones 1.5.1.4, 1.9.1.2 y 1.5.6)

Para los siguientes límites el esfuerzo admisible a flexión se determina como sigue:

$$53 \leq \frac{1}{r_t} \leq 119 \quad \text{-----} \quad F_b = 1.33 \left[ \frac{2}{3} - \frac{F_y (1/r_t)^2}{1530 \times 10^3 C_b} \right] F_y$$

Considerando:

$$F_y = 36 \text{ KSI}$$

$$C_b = 1$$

70.31 = Factor de transformación en KSI a  $\text{kg/cm}^2$

El esfuerzo a flexión nos queda:

$$F_b = 2242 - 0.0792 (1/r_t)^2, \text{ en } \text{kg/cm}^2 \quad \text{-----} \quad (1.5 - 6a)$$

Cuando el valor de  $1/r_t$  excede el valor de 119:

$$1/r_t \geq 119 \quad \text{-----} \quad F_b = \frac{11952700}{(1/r_t)^2}, \text{ kg/cm}^2 \quad (1.5-6b)$$

d. Esfuerzos de compresión axial y flexión combinados.

(secciones 1.6.1 y 1.5.6)

Los miembros sujetos a ambos esfuerzos de flexión compresión axial

deberán satisfacer los siguientes requisitos:

$$\frac{F_a}{F_a} + \frac{C_{mz} F_{bz}}{(1 - \frac{F_a}{F'_{ez}}) F_{bz}} + \frac{C_{my} F_{by}}{(1 - \frac{F_a}{F'_{ey}}) F_{by}} \leq 1.0 \quad \text{-----} \quad (1.6 - 1a)$$

En donde consideramos:

$C_{mz} = C_{my} = 1$ . - Que es conservador puesto que de acuerdo a la especificación, para miembros cuyos extremos están restringidos  $C_m$

es igual a 0.85 y para aquellos en que no lo están,  $C_m$  es igual a 1.0 y el valor de  $F'_{ey}$  y  $F'_{ez}$  de la siguiente forma:

$$F'_{ey} = \frac{13964323}{\left(\frac{kly}{r_y}\right)^2}; \text{ en } \text{kg/cm}^2$$

$$F'_{ez} = \frac{13964323}{\left(\frac{kI_z}{r_z}\right)^2}; \text{ en kg/cm}^2$$

y la siguiente ecuación:

$$\frac{f_a}{0.6F_y} + \frac{f_{by}}{F_{by}} + \frac{f_{bz}}{F_{bz}} \leq 1.0 \quad (1.6-1b)$$

Las formulas anteriores (1.6-1a) y (1.6-1b) se deben cumplir cuando el valor de  $f_a/F_a$  es mayor de 0.15 y cuando el valor es menor, se puede usar la siguiente ecuación:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{by}}{F_{by}} + \frac{f_{bz}}{F_{bz}} \leq 1.0 \quad (1.6-2)$$

### 3. Esfuerzos actuantes

Los esfuerzos actuantes en los miembros estructurales se calculan a partir de las acciones mecánicas internas, obtenidas de los análisis estáticos o dinámicos para diversas condiciones de carga.

A continuación se presenta la nomenclatura o definición de los parámetros que se emplean en la obtención de los esfuerzos actuantes y se guía las fórmulas a través de las cuales se obtienen.

Definición de parámetros:

$P_x$  = Fuerza axial, en kg, de tensión o compresión

$P_y$  = Fuerza cortante en kg, en la dirección del plano del alma (dirección "y"); esfuerzo de fluencia del acero, en  $\text{kg/cm}^2$

$P_z$  = Fuerza cortante en kg, en la dirección normal al plano del alma (dirección "z")

$M_x$  = Momento de torsión, en kg-cm, alrededor del eje "x"

$M_y$  = Momento de flexión, en kg-cm, alrededor del eje "y"

$M_z$  = Momento de flexión, en kg-cm, alrededor del eje "z"



$A_x$  = Area total de la sección transversal

$A_n$  = Area neta efectiva de la sección transversal

$F_y$  = Esfuerzo de fluencia = 2531 kg/cm<sup>2</sup> para acero A-36

$F_u$  = Mínima resistencia última = 4078 kg/cm<sup>2</sup> para acero A-36

$E$  = Módulo de elasticidad del acero = 2039,900 kg/cm<sup>2</sup>

$G$  = Módulo de elasticidad del acero a cortante = 784,172 kg/cm<sup>2</sup>

Formulas de esfuerzos actuantes:

a. Esfuerzo axial de tensión

$$f_t = \frac{P_x}{A_x} = \frac{\text{Fuerza axial de tensión}}{\text{Area total}} = \text{Esfuerzo de tensión}$$

$$f_t = \frac{P_x}{A_n} = \frac{\text{Fuerza axial de tensión}}{\text{Area neta}} = \text{Esfuerzo de tensión}$$

b. Esfuerzo axial de compresión

$$f_a = \frac{P_x}{A_x} = \frac{\text{Fuerza axial de compresión}}{\text{Area total}} = \text{Esfuerzo de compresión}$$

c. Esfuerzo por flexión (+ flexión por torsión)

$$f_b = f_{bt} + f_{by} + f_{bz}$$

En donde:

$$* f_{bt} = \frac{M_x}{2S_{yy}} = \text{Esfuerzo de flexión debido a torsión, con respecto al eje x}$$

$$f_{by} = \frac{M_y}{S_{yy}} = \text{Esfuerzo de flexión con respecto al eje y}$$

$$f_{bz} = \frac{M_z}{S_{zz}} = \text{Esfuerzo de flexión con respecto al eje z}$$

\* En el esfuerzo de flexión se incluye, también el esfuerzo de flexión por torsión debido al alabeo y giro de secciones --- abiertas como perfiles I y canales, para lo cual se requiere el valor del parámetro "B" que podemos encontrar en la Ref. -

10.

En secciones cerradas se desprecia este efecto

d. Esfuerzo cortante

El esfuerzo cortante actuante se determina por el efecto de -  
fuerzas cortantes directas y de momento de torsión como se in-  
dica a continuación:

Por fuerzas cortantes

$$f_{v \max.} = \alpha f_{v \text{ prom.}}$$

En donde:

$$f_{v \max.} = \text{Esfuerzo cortante máximo}$$

$$f_{v \text{ prom.}} = \text{Esfuerzo cortante promedio} = \frac{P_v}{A_x}$$

$$P_v = \text{Fuerza cortante } P_y \text{ y } P_z$$

$$A_x = \text{Area total}$$

$$\alpha = \frac{\text{Esfuerzo cortante máximo}}{\text{Esfuerzo cortante promedio}} = \text{factor de forma}$$

Sustituyendo:

$$f_{v \max.} = \frac{F_v}{A_x}$$

Considerando que el esfuerzo cortante varía en su distribució-  
n para cada dirección dependiendo de su factor de forma:

$$F_{vy} = \frac{\alpha_y P_y}{A_x}$$

$$F_{vz} = \frac{\alpha_z P_z}{A_x}$$

Para el cálculo de  $\alpha_y$  y  $\alpha_z$  consultar la ref. 10.

Por momento de torsión.

Para el cálculo del esfuerzo cortante debido a torsión, se de-  
be tomar en cuenta si se trata de secciones abiertas, cerra--

das o tubulares y para generalizar este cálculo se usará la siguiente fórmula:

$$\tau_{\max.} = \frac{Mx t_{\max}}{RC}$$

En donde:

R = Rigidez torsional

$\tau_{\max.}$  = Esfuerzo cortante máximo debido a torsión

Aplicando lo anterior a los ejes "y" y "z", tenemos:

$$\tau_{y \max.} = \frac{Mx t_{z \max}}{RCy}$$

$$\tau_{z \max.} = \frac{Mx t_{y \max}}{RCz}$$

En donde:

$Cy = Cz = 1.0$  para secciones abiertas

Debido a que todas las secciones de los miembros estructurales son secciones abiertas, el esfuerzo cortante máximo se calcula como sigue:

$$fv = \left\{ \begin{array}{l} fvy_{\max.} + \tau_{y \max.} \\ fvz_{\max.} + \tau_{z \max.} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{\alpha_y Py}{Ax} + \frac{Mx t_{z \max.}}{R} \\ \frac{\alpha_z Pz}{Ax} + \frac{Mx t_{y \max.}}{R} \end{array} \right\}$$

Los esfuerzos máximos debidos a cortante y a torsión pueden no presentarse en el mismo punto de la seccion, en cuyo caso -- las fórmulas citadas son conservadoras.

#### 4. Condiciones de carga para revisión

De los análisis estructurales estáticos y dinámicos realizados en la computadora con el programa SAP-IV, correspondientes a las

combinaciones de las cargas básicas mencionadas en el capítulo -- III y a la respuesta dinámica de la estructura, se presentan en -- las tablas II a VII las envolventes máximas de acciones mecáni-- cas internas para cada condición de carga y cada tipo de sección -- estructural de la torre, las acciones mecánicas de diseño se pre-- sentan para las condiciones de carga número 4 y 7 que incluyen la combinación de carga muerta + carga viva + carga de viento en la dirección del eje "z" (global) Tabla V, y la combinación de carga muerta + carga viva + sismo en la dirección "z" (global) Tabla VII. Por tanto las acciones mecánicas internas obtenidas para estas -- combinaciones de carga fueron las que se utilizaron para evaluar los esfuerzos actuantes en la estructura y revisar que no excedie-- ran los esfuerzos admisibles mencionados anteriormente.

Para la respuesta dinámica estructural de la estructura, se anali-- zaron 2 modelos mostrados en las figuras 8 y 9 en donde -- se indica la disposición del contraventeo vertical en sus caras -- laterales. En el primer modelo se indica contraventeo cruzado -- con un total de 152 barras y en el segundo modelo se indica solo una de las barras del contraventeo cruzado, es decir, que se ha -- eliminado una de las barras del contraventeo cruzado con un total de 100 barras.

Para el primer modelo se hizo una corrida con la participación de 10 modos de vibrar obteniendo la respuesta dinámica estructural -- correspondiente, con el criterio de la raíz cuadrada de la suma -- de los cuadrados de cada respuesta modal, considerandose por las

características del análisis dinámico que las acciones mecánicas - internas tienen el concepto de reversibilidad o que en determinado momento tienen sentido positivo o negativo, las acciones en las barras tienen también el sentido de tensión o compresión, y si consideramos que este contraventeo solo trabaja en tensión, sería un error considerar esta forma de trabajo en el modelo.

De lo anterior, y si consideramos la dirección del contraventeo cruzado, podemos suponer que para fuerzas laterales en una dirección solo trabaja una de las barras en tensión, despreciando la pequeña fuerza en compresión que pudiera tomar la otra barra, debido a su gran relación de esbeltez, y solo esta barra en tensión la que proporcione rigidez lateral al modelo, y si existe reversibilidad, entonces la barra que trabajó anteriormente en tensión, ahora trabajará en un rango de compresión muy bajo y la que trabajó en compresión, ahora trabajará en tensión.

De esta consideración se llegó al segundo modelo mencionado anteriormente con 100 barras de contraventeo, llevándose a cabo la corrida en la computadora y obteniéndose la correspondiente respuesta dinámica estructural en donde se encontró que las acciones mecánicas internas en las barras del contraventeo vertical que proporcionan rigidez lateral en la dirección más débil de la estructura tenían casi el doble del valor obtenido con el modelo de 152 barras, y el cual solo se considera en tensión debido a las consideraciones mencionadas anteriormente.

##### 5. Revisión de elementos estructurales

Respecto al criterio de revisión estructural desarrollado en el

presente trabajo, éste se llevó a cabo con las consideraciones de diseño y simplificaciones que a continuación se describen:

- 5.1 Se toma una envolvente máxima de las acciones mecánicas internas de todos los miembros estructurales de la misma sección transversal y con esta envolvente se calculan los esfuerzos actuantes.
- 5.2 La longitud lateral de arriostramiento se considerará la mayor de todos los elementos estructurales del mismo tipo.
- 5.3 Del punto anterior los esfuerzos admisibles de compresión y flexión se toman para la misma longitud.
- 5.4 Solo en el caso de que los esfuerzos actuantes excedieron los valores admisibles, se procedió a revisar con los elementos mecánicos correspondientes a cada elemento estructural y sus respectivas longitudes de arriostramiento en cada dirección y condiciones de apoyo en la determinación de los esfuerzos actuantes y admisibles.
- 5.5 Para la revisión del diseño de las barras solo se considera su trabajo en tensión ya que así fueron modeladas en los análisis estructurales, y para la determinación de las longitudes efectivas en tensión, el hecho de que en el cruce de los contravientos existe restricción en el plano que forman dichos contravientos que se proporcionan uno al otro por el hecho de conectarse a una placa de cruce da suficiente rigidez.
- 5.6 En la revisión del diseño de vigas solo se consideró el esfuerzo de compresión debido a que en todos los casos la fuerza de compresión fué mayor que la de tensión, y en el caso de la combinación con sismo se tiene el efecto reversible de tensión y compresión, además de que el esfuerzo admisible a tensión es mayor o igual al esfuerzo ad

misible a compresión.

5.7 El resultado de esta revisión se presenta en las tablas VII, VIII y IX, en donde se indican las condiciones en que se revisaron cada -- uno de los miembros estructurales de acuerdo a los criterios mencionados anteriormente.

## V. CONCLUSIONES.

En base a lo expuesto, podemos concluir que, para los problemas que se presentan en plantas industriales, se hace necesaria la intervención de diferentes disciplinas del área de Ingeniería, ya que se requiere definir una serie de requisitos para cumplir con un determinado fin, como fué en este caso la eliminación de desechos por medio de un quemador eléctrico, habiéndose llegado a ésta solución a través de la intervención de diferentes especialistas, que definieron forma, altura del quemador, localización en base al arreglo general de la planta y vientos predominantes, etc., y en la experiencia previa en el diseño de otras plantas similares en México y otros países.

En éste trabajo se pretendió mostrar a las personas que se inician en la solución de estructuras de acero, un procedimiento que las ubique dentro de la realidad práctica en su diseño y construcción y habiéndose llevado a cabo la selección de las diferentes alternativas presentadas e indicándose proplamente dicha la disciplina civil, podemos mencionarlo siguiente:

- 1.- Como primer punto se observa la importancia de efectuar estudios de mecánica de suelos, para conocer las características del terreno donde se desplantará la estructura y así poder definir la cimentación más apropiada. Esto se lleva a cabo conociendo con anterioridad la localización de la estructura en el arreglo general del complejo industrial.

Para éste caso en función de las características del terreno y de las descargas de la estructura se recomienda una cimentación superficial debiéndose



verificar los esfuerzos transmitidos al terreno, - deformaciones y los efectos de volteo.

- 2.- En cuánto a las características propias de la torre, tales como la geometría, se dió en función de estructuras similares en las cuales, por experiencia, se ha visto que su funcionamiento es apropiado.
- 3.- Por lo que toca a las cargas actuales, es importante considerar las que actuarán básicamente, para después en base a los reglamentos vigentes hacer las combinaciones que se consideren durante la vida útil de la estructura.
- 4.- Para la fase de análisis estructural es importante la formulación de los modelos, uno es el analítico, el cuál dentro de una serie de hipótesis nos dará una idea del comportamiento de la torre, El otro modelo es el matemático, el que por medio de expresiones refleja la correspondencia de acciones y respuestas, en base a la solución de una serie de ecuaciones.

Claramente se puede notar, que por medio del uso de los programas de computación se obtienen grandes ventajas sobre los métodos tradicionales, como son el importante ahorro del tiempo y la seguridad que se tiene al obtener resultados más precisos. Por esto es recomendable que los estudiantes de Ingeniería civil tengan un contacto más amplio con la aplicación de la computación en la carrera.

Con la utilización del programa SAP IV en particular se abrevió mucho el trabajo numérico y además -

permitió el que se modelaran en tres dimensiones - y que se pudiera pensar más en las hipótesis del - modelo analítico, como en el caso del contraventeo vertical, para cuyo comportamiento se hicieron dos corridas, considerándo en la primera tal como está estructurado ó construído, sin considerar los efectos de esbeltez en compresión y en la segunda únicamente trabajando en tensión, eliminándo los elementos en compresión y observando el cambio en los esfuerzos internos de los elementos a tensión. Sin embargo, cabe hacer notar que deben utilizarse los programas para computadora (SOFTWARE) tratándo de conocer ó comprender los métodos que empleen para la solución de los problemas, ya que de lo contrario se pudiera caer en errores no detectables, como por ejemplo en elementos tipo barra en donde al formar una armadura plana en el espacio, para cada nudo en donde solo concurren elementos de éste tipo, el programa define 6 grados de libertad por -- nudo y en una armadura plana sólo se definen 2, -- quedándo los demás grados de libertad en el espacio tridimensional indefinidos, creándo también una -- inestabilidad en nuestro modelo matemático, no pudiéndose resolverse numéricamente, como lo es la aparición de ceros en la diagonal principal de la matriz de rigideces.

- 5.- Por lo que respecta al dimensionamiento de los elementos estructurales, ésto se hizo en base a las especificaciones del AISC que define el valor de los esfuerzos admisibles, los cuales no deben ser excedidos por los esfuerzos actuantes debidos a condiciones de servicio.
- 6.- En relación a los criterios empleados para la revisión de los elementos estructurales, es importante no perder de vista al empleo de criterios conserva

dores, que por otra parte nos permite llevar a cabo una revisión más rápida y los límites de seguridad y servicio en cuanto a resistencia y deformabilidad, definidos en los reglamentos de diseño y construcción tales como el de CFE y R.C.D.F.

En el presente trabajo el criterio conservador fué el empleo de una envolvente de elementos mecánicos internos máximos debidos a las diferentes combinaciones de carga de todos los elementos del mismo tipo de sección transversal y unicamente en los casos en que los valores admisibles eran excedidos bajo éste criterio se efectuó una revisión más detallada con los elementos actuantes y condiciones propias de servicio de cada elemento, sin perder de vista el funcionamiento de conjunto de toda la estructura y verificando los límites de servicio y seguridad ya mencionados.

## REFERENCIAS

1. Manual de Diseño de Obras Civiles  
Comisión Federal de Electricidad
2. Flare Stack Design  
Handbook  
Hydrocarbon Processing 1968
3. Guide for Pressure Relief and  
Depressuring Systems  
API RP-521
4. Design and Instalation of  
Pressure-Relieving Systems  
in Refineries  
API-RP-520
5. Especificaciones para el diseño, fabricación y erección de estructuras  
de acero para edificios del "American Institute of Steel Construction  
(AISC)  
Noviembre 1978, 8° Edición
6. Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal  
Julio, 1977
7. M. en I. José Luis Trigos Suárez.  
"Detallado de Estructuras de Concreto",  
II Congreso Nacional del Concreto,  
Octubre 1982
8. Klaus-Jurgen Bathe, Edward L. Wilson, Fred E. Peterson,  
"A Structural Analysis Program for Static and Dynamic  
Response of Linear Systems"
9. Clough, R.W., "Earthquake Analysis by Response  
Spectrum Superposition, "Bulletin of the Selsmological  
Society of America, Vol. 52.  
July 1962
10. Roark, R.J. & Young. W.C."Formulas for Stress and Strain",  
Fifth Edition, 1975

TABLA I

DIMENSIONES ( m )	HUNDIEMENTOS ( cm )
1.0 x 1.0	1.4
1.5 x 1.5	2.0
2.0 x 2.0	2.6
1.0 x 3.0	3.3
1.5 x 3.0	3.7
2.0 x 3.0	4.0

TABLA II

Tipo de Análisis Estructural: Dinámico, modelado con 152 barras y la participación de 10 modos de vibrar.

Factores de Dirección:  $Y = 1.3 \times 0.75 = 0.975$ ,  $Z = 1.3 \times 1.3$

Factor de ductilidad:  $Q=2$ . Factor de escala =  $981/2 = 490.5$

TIPO DE ELEM.	No. DE SECCION	P1 AXIAL (X)	V2 CORTANTE (Y)	V3 CORTANTE (Z)	T1 TORSION (X)	M2 FLEXION (Y)	M3 FLEXION (Z)
		KGS.	KGS.	KGS.	KGS.-CM.	KGS-CM.	KGS-CM
BARRA	1	2843					
BARRA	2	2905					
BARRA	2	2836					
BARRA	3	176					
VIGA	1	38610	124	124	169	32860	35390
	2	34090	11	9	10	8203	6092
	3	20350	4	13	11	10850	1848
	4	18680	1	13	6	6953	608
	5	10420	1	12	4	4097	396
	6	3902	3	15	9	1718	333
	7	3275	261	200	180	26900	59110
	8	3664	30	132	25	11390	9242
	9	82	3	79	2	4779	455
	10	17	0	4	1	275	57
	11	11	0	20	0	1286	55
	12	64	3	66	1	2989	682
	13	2400	33	72	7	3262	7411
	14	81	0	87	0	4479	260
	15	224	1	18	0	1772	101
	16	55	1	47	0	2138	657
	17	3945	76	20	10	3798	20790

TABLA III

Tipo de Análisis Estructural: Dinámico, modelado con 152 barras y la participación de 3 modos de vibrar.

Factores de Dirección:  $Y = 1.3 \times 0.75 = 0.975$   $Z = 1.3 \times 1 = 1.3$

Factor de Ductilidad:  $A=2.:$  Factor de escala =  $981/2 = 490.5$

TIPO DE ELEM.	No. DE SECCION	P1 AXIAL	V2 CORTANTE (Y)	V3 CORTANTE (Z)	T1 TORSION (X)	M2 FLEXION (Y)	M3 FLEXION (Z)
		Kg.	Kg.	Kg.	Kg.-cm.	Kg.-cm.	Kg.-cm.
BARRA	1	2842					
BARRA	2	2879*					
BARRA	2	2793**					
BARRA	3	172					
VIGA	1	38250	122	122	15	32760	35080
	2	34030	10	7	4	8045	6003
	3	30340	4	12	5	10660	1830
	4	18220	1	12	5	6848	302
	5	9734	1	11	4	3862	216
	6	3568	3	14	8	1538	306
	7	3240	259	12	141	2330	58440
	8	3662	27	13	25	1046	8101
	9	68	3	63	2	3791	453
	10	4	0	2	1	127	31
	11	1	0	3	0	256	27
	12	20	2	39	1	1882	660
	13	2389	33	62	7	2843	7254
	14	79	1	85	0	4371	124
	15	184	0	14	0	1407	60
	16	7	1	17	0	1003	584
	17	3171	20	2	2	1183	3776

\* CORTO

\*\* LARGO.

TABLA IV

TIPO DE ANALISIS ESTRUCTURAL: Dinámico, modelado con 100 barras y la participación de 3 modos de vibrar.

FACTORES DE DIRECCION:  $Y = 0.975$ ,  $Z = 1.3$

FACTOR DE DUCTILIDAD:  $Q = 2.$ : El factor de escala es  $981/2 = 490.5$

TIPO DE ELEM.	No. DE SECCION	P1 AXIAL (X) Kg.	V2 CORTANTE (Y) Kg.	V3 CORTANTE (Z) Kg.	T1 TORSION (X) Kg.-cm	M2 FLEXION (Y) Kg.-cm	M3 FLEXION (Z) Kg.-cm
BARRA	1	5008					
	2	2668					
	2	5177					
	3	522					
VIGA	1	39750	152	93	37	30560	51440
	2	36310	29	19	20	11770	14040
	3	32460	18	27	31	16930	8118
	4	19900	13	26	27	11200	5605
	5	11050	12	22	9	6322	3150
	6	4920	9	34	10	3624	2029
	7	2786	249	15	113	2283	52900
	8	3910	65	19	23	1579	20240
	9	70	9	63	2	3777	1199
	10	8	0	1	3	141	20
	11	166	0	4	1	288	14
	12	294	7	116	5	9274	1604
	13	3067	74	71	16	2894	15730
	14	255	0	108	1	4929	157
	15	242	1	15	0	1494	142
	16	204	3	125	3	9261	1346
	17	3496	23	2	2	1133	3850



TABLA V

TIPO DE ANALISIS ESTRUCTURAL: Estatico

CONDICION DE CARGA: C.M.+C.V.+ Viento en Dirección "Z" (Cond.No.4).

ELEMENTOS MECANICOS INTERNOS MAXIMOS PARA CADA TIPO DE SECCION (ENVOLVENTE MAXIMA DE TODOS LOS ELEMENTOS DEL MISMO TIPO DE SECCION)

TIPO DE ELEM.	No. DE SECCION	* P1 AXIAL (x)	V2 CORTANTE (Y)	V3 CORTANTE (Z)	T1 TORSION (X)	M2 FLEXION (Y)	M3 FLEXION (Z)
		Kg.	Kg.	Kg.	Kg.-cm	Kg.-cm	Kg.-cm
BARRA	1	-31326					
BARRA	2	-24869					
BARRA	2	+14005					
BARRA	3	+ 3377					
VIGA	1	+197000	677	439	439	200500	233000
	2	+170700	159	137	76	67270	75490
	3	+145600	110	186	83	90040	46320
	4	+ 82240	69	115	67	51450	31920
	5	+ 46320	43	94	30	28870	11990
	6	+ 21920	145	400	7	53670	23260
	7	+ 22720	1479	1087	228	115600	270300
	8	+ 21130	958	335	333	44490	143600
	9	+ 705	467	908	20	54530	27920
	10	+ 26	322	13	43	2171	55510
	11	+ 860	57	204	0.24	25290	55500
	12	+ 1802	196	1579	31	75060	42470
	13	+ 16230	1400	1553	195	75020	117200
	14	+ 1052	22	1434	5	76100	16630
	15	+ 1067	184	200	11	20140	11860
	16	+ 1598	130	1808	30	75330	46350
	17	+ 28600	388	97	17	111300	14190

\*: SIGNO - TENSION

SIGNO + COMPRESION

TABLA VI

TIPO DE ANALISIS: Estático y dinámico  
 CONDICION DE CARGA: C.M. + C.V. + Sismo en la dirección "z"  
 Elementos mecánicos internos máximos para cada tipo de sección  
 (Combinación de envolventes de (C.M. + C.V.) y respuesta dinámica

TIPO DE ELEM.	NO. DE SECCION	P* AXIAL (X)	V2 CORTANTE (Y)	V3 CORTANTE (Z)	T1 TORSION (X)	M2 FLEXION (Y)	M3 FLEXION (Z)
		Kg.	Kg.	Kg.	Kg - cm	Kg - cm	Kg - cm
BARRA	1	5156					
	2	4028					
	2	5300					
	3	576					
VIGA	1	57100	246	223	73	74860	81190
	2	49900	108	151	35	63980	45880
	3	43510	95	108	36	94150	44788
	4	26801	46	57	34	29090	24106
	5	16116	35	35	10	12268	12011
	6	9089	307	161	11	26104	45019
	7	3557	278	579	458	40733	56725
	8	4125	79	1098	277	97679	22275
	9	76	12	416	19	29267	1377
	10	22	4	323	29	55591	296
	11	188	15	60	6	55748	1238
	12	2090	1210	243	25	47964	76654
	13	3334	84	1407	178	110794	22268
	14	274	11	130	1	21549	1059
	15	244	1	200	15	13404	145
	16	220	10	238	16	52151	1933
	17	5481	38	13	4	4036	7250

T A B L A    V I I

TIPO DE ELEM.	No. DE SECCION	DESCRIPCION
BARRA	1	2 APS 102 X 102 X 6
BARRA	2	2 APS 76 X 76 X 6
BARRA	3	1 APS 76 X 76 X 6
VIGA	1	HPC 356 X 356 X 13 X 22-156 Kg/m
VIGA	2	HPC 356 X 305 X 11 X 16-105 Kg/m
VIGA	3	HPC 305 X 305 X 10 X 16-97.1 Kg/m
VIGA	4	HPC 254 X 254 X 10 X 16-80.5 Kg/m
VIGA	5	HPC 203 X 203 X 10 X 13-53.8 Kg/m
VIGA	6	HPC 203 X 152 X 10 X 13-44 Kg/m
VIGA	7	IPR 406 X 178-74.50 Kg/m
VIGA	8	IPR 254 X 146-43.20 Kg/m
VIGA	9	CPS 152-12.20 Kg/m
VIGA	10	IPR 254 X 102-28.20 Kg/m
VIGA	11	IPR 254 X 102-28.2 Kg/m + CPS 203-17.11 Kg/m
VIGA	12	IPR 203 X 133-24.8 Kg/m + CPS 203-17.11 Kg/m
VIGA	13	IPR 203 X 133-29.8 Kg/m
VIGA	14	IPR 203 X 133-29.80 Kg/m + CPS 259-22.76 Kg/m
VIGA	15	IPR 152 X 102-17.90 Kg/m
VIGA	16	IPR 254 X 146-43.2 Kg/m + CPS 203-17.11 Kg/m
VIGA	17	2 APS 152 X 152 X 14

T A B L A VII

REVISION DE ELEMENTOS TIPO VIGA

CONTINUACION

ENVOLVENTE O NO. DE - VIGA	NO. DE SECCION	$\frac{Kl_z}{r_z}$	$\frac{Kl_z}{r_z}$	AX AREA TOTAL cm <sup>2</sup>	B	Syy MODULO DE SECCION cm <sup>3</sup>	Szz MODULO DE SECCION cm <sup>3</sup>	ly/r <sub>t</sub>	lz/r <sub>t</sub> o ld/Af	fa kg/cm <sup>2</sup>	Fa kg/cm <sup>2</sup>
Env.	1	68	41	197.6	25.04	936	2650	78.7	78.7	997	1556
Env.	2	81	40	133.2	28.30	496	1761	90.8	90.8	1282	1795
Env.	3	78	46	122.8	29.04	491	1431	90.1	90.1	1186	1457
Env.	4	93	55	101.8	24.24	341	1970	107.5	107.5	808	1294
Env.	5	78	46	65.73	22.77	175	499	90.1	90.1	705	1749
*272	6	111	48	57.22	16.78	100	397	121.8	121.8	161	1079
* 45	7	79	24	94.90	19.60	172	1327	-	84.1	97	1446
* 63	8	775	55	55.03	16.76	92	505	-	149.0	330	456
*324/325	9	86	20	15.42	9.07	8.06	71.77	56.7	ld/Af=418	12.55	1372
Env.	10	107	22	36.19	14.0	34.9	308.1	109.8	109.8	1.0	1129
Env.	11	25	13	57.87	14.0	149.5	669	20	20	15.0	1897
Env.	12	24	15	59.61	19.0	167.1	557	20	20	30.0	1903
*138	13	113	54	37.93	19.61	57.35	278.6	-	99	428	1053
Env.	14	18	16	66.90	19.05	277	299	16.65	16.65	16	1937
Env.	15	52	19	22.77	18.16	24.41	119	55.75	55.75	47	1699
Env.	16	25	12	76.71	16.74	195.0	541	20	20	21	1896
Env.	17	105	51	83.23	-	237.0	169	-	-	344	1153

VER CONTINUACION TABLA VII



TABLA VIII

REVISION DE ELEMENTOS TIPO BARRA SUJETOS A TENSION O COMPRESION

No. DE SECCION	TENSION O COMPR.	$\left(\frac{l}{r}\right)$ MAX.	$\left(\frac{kl}{r}\right)$ MAX.	P1 AXIAL kgs.	Ax AREA TOTAL cm2	An AREA NETA cm2	ft ó fa SOBRE EL AREA TOTAL Kg/cm2	ft SOBRE EL AREA NETA Kg/cm2	Ft SOBRE EL AREA TOTAL Kg/cm2	Ft SOBRE EL AREA NETA Kg/cm2	Fa COMPRESION SOBRE A. TOT kg/cm2
1	Tensión	242	-	31326	25.03	22.21	1251	1410	2020	2712	-
2	Tensión	278	-	24869	18.58	15.76	1338	1578	2020	2712	-
2	Comp.	-	137	13692	18.58	-	737	-	-	-	744
3	Comp.	-	182	3377	9.29	-	364	-	-	-	611

TABLA IX

TIPO DE ANALISIS ESTRUCTURAL: Estático.

CONDICION DE CARGA: C.M. + C.V. + Viento en dirección "Z" (Cond.No.4)

(No en todos los casos incluye envolvente máxima) Ver Nota 2 Inferior.

TIPO DE ELEM.	No. DE SECCION	* P1 AXIAL (X)	V2 CORTANTE (Y)	V3 CORTANTE (Z)	T1 TORSION (X)	M2 FLEXION (Y)	M3 FLEXION (Z)	
		kg.	kg.	kg.	kg.-cm	kg.-cm	kg.-cm	
BARRA	1	-31326						
	2	-24869						
	2	+13692						
	3	+ 3377						
VIGA	1	197000	677	439	439	200500	233000	
	2	170700	159	137	76	67270	75490	
	3	145600	110	186	83	90040	46320	
	4	82240	69	115	67	51450	31920	
	5	46320	43	94	30	28870	11990	
	** 6	9238	129	400	2	53670	23110	
	** 7	9237	1070	543	141	115600	241800	
	** 8	18190	5	296	8	1548	111300	
	** 9	194	2	906	0	54530	2629	
		10	26	322	13	2171	55510	
		11	860	57	204	0	25290	55500
		12	1802	196	1579	31	75060	42470
	** 13	16230	341	16	23	4178	92430	
		14	1052	22	1434	5	76100	16630
		15	1067	184	200	11	20140	11860
		16	1598	130	1808	30	75330	46350
		17	28600	97	388	17	111300	14190

NOTAS: \* 1.- Signo (-) Tensión, Signo (+) compresión.

\*\* 2.- Se revisaron todas las piezas de estas secciones -- transversales con los elementos mecánicos internos de cada viga y sus longitudes efectivas y sólo se reportan las más esforzadas.

\*\*\* Corregir diseño.

Tipo de sección: \_\_\_\_\_

Elemento \_\_\_\_\_ No. \_\_\_\_\_

PROPIEDADES GEOMETRICAS

d =	cm.	$t_w =$	cm.
b =	cm.	$t_f =$	cm.
l =	cm.	Esfuerzo de fluencia $S_y =$	_____ Kg/cm <sup>2</sup>
$A_x =$	cm <sup>2</sup> .	$I_{yy} =$	cm <sup>4</sup> $r_T =$ cm
$\frac{K l}{r_{yy}}$		$S_{yy} =$	cm <sup>3</sup> $\frac{l}{r_T} =$
		$I_{zz} =$	cm <sup>4</sup> $r_T =$
$\frac{K l}{r_{zz}}$		$S_{zz} =$	cm <sup>3</sup> CTE-1=
		R =	cm <sup>4</sup> CTE-2=
$\frac{l}{b}$		B = (CTE-2)tg.h.(CTE-1X1)=	_____
		$y =$	$z =$

ELEMENTOS MECANICOS INTERNOS ACTUANTES

$P_x =$	Kg. (axial)	$M_x =$	Kg.-cm. (torsión)
$P_y =$	Kg. (cortante)	$M_y =$	kg.-cm. (flexión)
$P_z =$	kg. (cortante)	$M_z =$	kg.-cm. (flexión)

ESFUERZOS ACTUANTES

Axial.- (tensión)

$A_x =$  área total = \_\_\_\_\_ ; (1/r)max. 300

$A_n =$  área neta = \_\_\_\_\_

$f_t = \frac{P_x}{A_x} = \frac{\quad}{\quad} = \frac{\quad}{\quad}$  Kg./cm<sup>2</sup> Kg./cm<sup>2</sup>

$f_t = \frac{P_x}{A_n} = \frac{\quad}{\quad} = \frac{\quad}{\quad}$  Kg./cm<sup>2</sup> kg./cm<sup>2</sup>



ESFUERZOS ADMISIBLES (AISC)

Tensión.- ( sección 1.5.1.1, 1.5.6, 1.8.4 )

La relación l/r = \_\_\_\_\_ , 240 para miembros principales

La relación l/r = \_\_\_\_\_ 300 para arriostramiento lateral y miembros secundarios o contravientos.

$F_t = 1.33 \times 0.60 \times 2531 = 2020 \text{ kg./cm}^2$ . sobre el área total ni tampoco

$F_t = 1.33 \times 0.50 \times 4078 = 2712 \text{ kg./cm}^2$ . sobre el área neta efectiva

ESFUERZOS ACTUANTES

Axial.- ( compresión )

$$f_a = \frac{P_x}{A_x} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kg./cm}^2.$$

Flexión + Torsión.-

$$f_b = \frac{M_x B}{2S_{yy}} + \frac{M_y}{S_{yy}} + \frac{M_z}{S_{zz}} = \underline{\hspace{2cm}} + \underline{\hspace{2cm}} + \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{by} = \frac{M_y}{S_{yy}} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kg./cm}^2.; f_{bz} = \frac{M_z}{S_{zz}} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{bt} = \frac{M_x B}{2S_{yy}} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kg/cm}^2.$$

Cortante.-

$$f_v = \frac{y P_y}{A_x} + \frac{M_x t_z \text{ max.}}{R C_y} = \underline{\hspace{2cm}} + \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$\frac{z P_z}{A_x} + \frac{M_x t_y \text{ max.}}{R C_z} = \underline{\hspace{2cm}} + \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

= \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ kg./cm<sup>2</sup>.

Nota:

Para secciones abiertas:

$$C_y = C_z = 1.0$$

El mayor

ESFUERZOS ADMISIBLES (AISC)

Compresión.- ( sección 1.5.1.3, 1.5.6 )

Con valor de  $kl/r$  max. y de la tabla 3-36 del manual AISC :

$$F_a = 1.33 \times \text{_____} = \text{_____} \text{ kg./cm}^2.$$

Flexión.- ( sección 1.5.1.4.5, 1.5.6 )

Si se cumple que:  $53 = 1/r_T = 119$ , el esfuerzo  $F_b$  se determina por:

$$F_b = 1.33 (1687 - 0.0595 (1/r_T)^2) = 2244 - 0.0791 ( \text{_____} )^2 = \text{_____} \text{ kg./cm}^2.$$

Cortante.- (sección 1.5.1.2, 1.5.6 )

$$F_v = 0.40 S_y \times 1.33 = 1346.00 \text{ kg./cm}^2$$

COMPARACION DE ESFUERZOS ACTUANTES Y ADMISIBLES

Compresión y Flexión combinados.- ( sección 1.6.1, 1.5.6 )

Cuando la relación de  $f_a/F_a$  es mayor de 0.15 se debe cumplir con las fórmulas

( 1.6-1a ) y ( 1.6-1b ) :

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_{my} f_{bz}}{1 - \frac{f_a}{F_a} F_b} + \frac{C_{mx} f_{bx}}{1 - \frac{f_a}{F_a} F_b} + \frac{f_{bt}}{F_b} = 1.0 \dots \dots \dots ( 1.6-1a )$$

En donde  $C_{mz} = C_{my} = 1.0$  y:

$$F'_{ez} = \frac{12 - 2 E X 70.31 X 1.33}{23 (kl_z/r_{zz})^2} = \frac{13\ 964\ 323}{(kl_z/r_{zz})^2} = \frac{13\ 964\ 323}{( \text{_____} )^2} = \text{_____} \text{ kg./cm}^2.$$

En forma similar para  $F'_{ey}$  :

$$F'_{ey} = \frac{13\ 964\ 323}{(kl_y/r_{yy})^2} + \frac{13\ 964\ 323}{( \text{_____} )^2} + \text{_____} \text{ kg./cm}^2.$$

$$\frac{\quad}{\quad} + \frac{\quad}{\quad} + \frac{\quad}{\quad} + \frac{\quad}{\quad} = \quad = 1.0$$

$$1 - \frac{\quad}{\quad} \quad 1 - \frac{\quad}{\quad}$$

$$\frac{f_a}{0.60S_y} + \frac{f_b}{F_b} = \frac{\quad}{1518} + \frac{\quad}{\quad} = \quad 1.0 \dots\dots (1.6-1b)$$

Si la relación de  $f_a/F_a$  es menor de 0.15, se usa la fórmula (1.6.2) en lugar de las (1.6-1a) y (1.6.1b).

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} = \frac{\quad}{\quad} + \frac{\quad}{\quad} = \quad 1.0 \dots\dots\dots (1.6.2)$$

Cortante.-

$$f_v = \quad \quad F_v = \underline{1346.0} \text{ kg./cm}^2$$

PROY. \_\_\_\_\_ HOJA \_\_\_\_\_ DE \_\_\_\_\_  
CLIENTE \_\_\_\_\_ ELABORO \_\_\_\_\_  
PLANTA \_\_\_\_\_ REVISO \_\_\_\_\_  
UBICACION \_\_\_\_\_ FECHA \_\_\_\_\_

### ESTRUCTURA PARA QUEMADOR

ESTA ALTERNATIVA ES IDEAL PARA PLANTAS DONDE LAS AREAS SON MUY LIMITADAS Y DONDE SON NECESARIAS GRANDES ALTURAS PARA MINIMIZAR RADIACIONES.

ESTAS ESTRUCTURAS PUEDEN SER CONSTRUIDAS A 120m. DE ALTURA SIN PROBLEMAS, SIENDO SU COSTO MAYOR QUE UN SISTEMA DE TENSOSES.

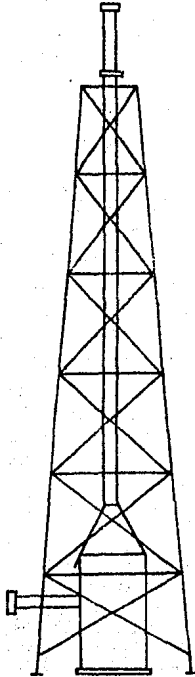


FIGURA-1

PROY. _____	HOJA _____ DE _____
CLIENTE _____	ELABORO _____
PLANTA _____	REVISO _____
UBICACION _____	FECHA _____

### TENSORES PARA QUEMADOR

EL SISTEMA DE TENSORES HA SIDO UTILIZADO EN QUEMADORES DE MAS DE --- 180m. EL PRINCIPAL INCONVENIENTE ES QUE EL CIRCULO QUE FORMAN LOS TENSORES ES DE GRANDES DIMENSIONES.

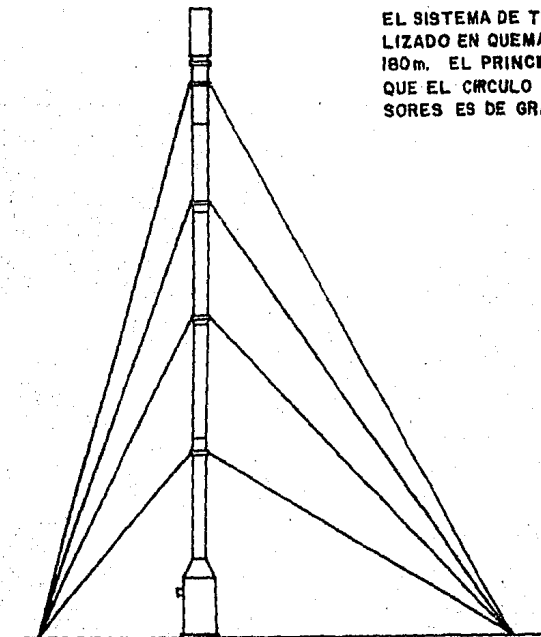


FIGURA - 2

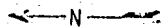
PROY. _____	HOJA _____	DE _____
CLIENTE _____	ELABORO _____	_____
PLANTA _____	REVISO _____	_____
UBICACION _____	FECHA _____	_____

### QUEMADOR AUTOSOPORTABLE

PARA ALTURA DE 75 m ó MENOS, EL QUEMADOR AUTOSOPORTABLE NO SOLO ES EL MAS ECONOMICO Y FACIL DE ERIGIR, SINO QUE ES EL QUE REQUIERE MENOS ESPACIO PARA SU INSTALACION.



FIGURA - 3



WIENTOS  
DOMINANTES

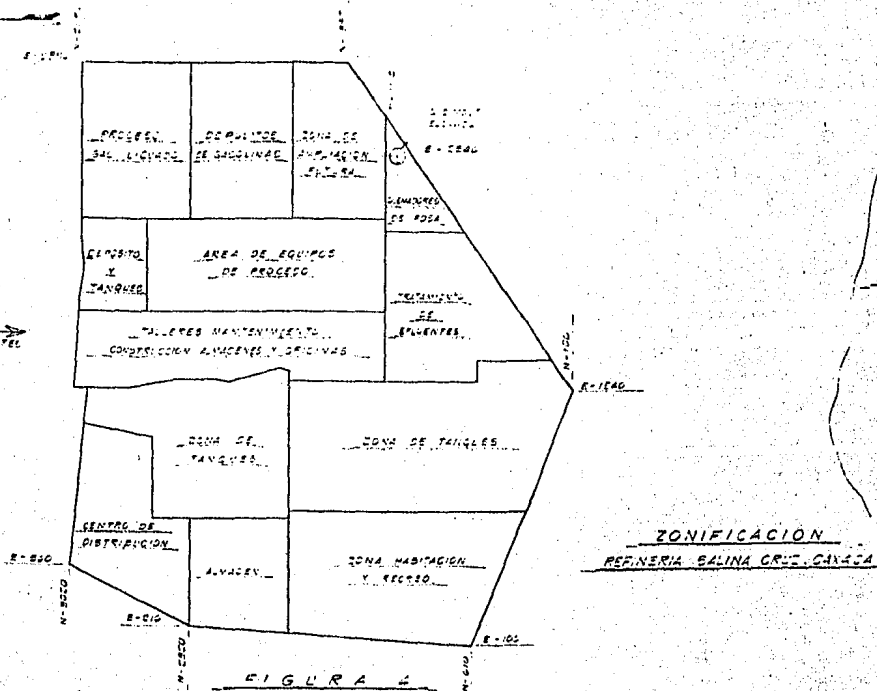
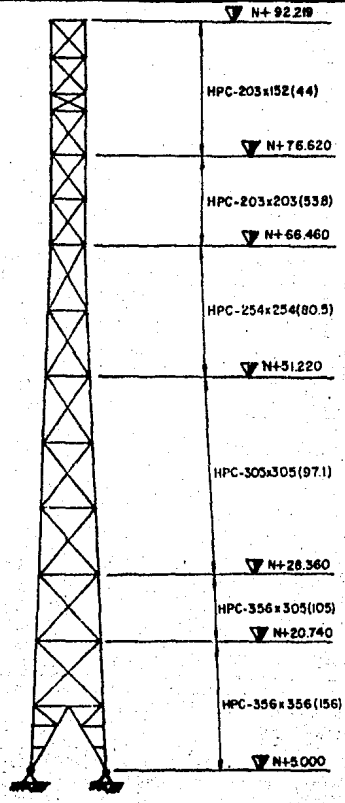


FIGURA 2

	PROY. _____ HOJA _____ DE _____
	CLIENTE _____ ELABORO _____
	PLANTA _____ REVISO _____
	UBICACION _____ FECHA _____



**FIGURA 5a**

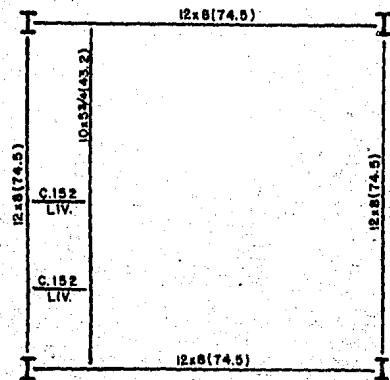


PROY. \_\_\_\_\_ HOJA DE \_\_\_\_\_  
CLIENTE \_\_\_\_\_ ELABORO \_\_\_\_\_  
PLANTA \_\_\_\_\_ REVISO \_\_\_\_\_  
UBICACION \_\_\_\_\_ FECHA \_\_\_\_\_

I I

I I

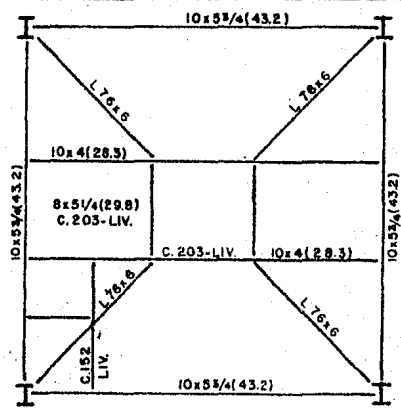
PLANTA N.º 5.000



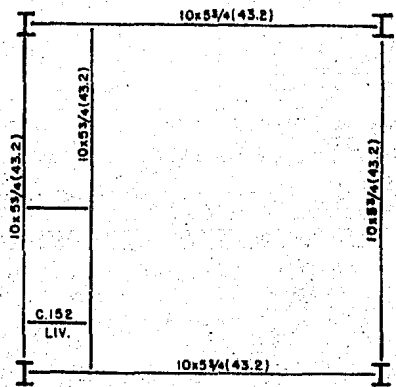
PLANTA N.º 12.924

FIGURA 5b.

PROY.	HOJA DE
CLIENTE	ELABORO
PLANTA	REVISO
UBICACION	FECHA



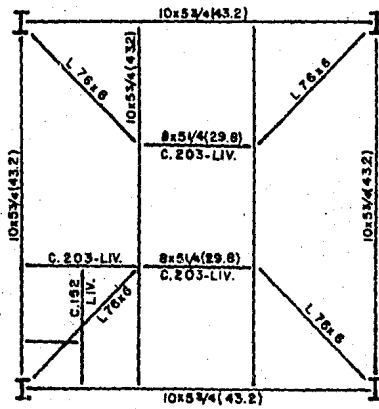
PLANTA N.+ 20.740



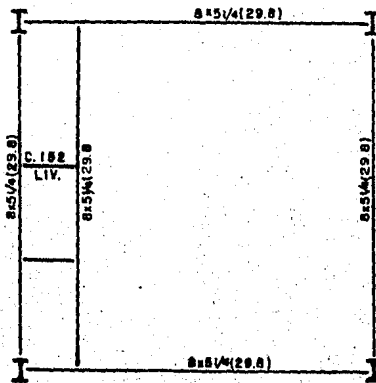
PLANTA N.º 28.360

FIGURA 5c.

PROY. \_\_\_\_\_ HOJA \_\_\_\_\_ DE \_\_\_\_\_  
 CLIENTE \_\_\_\_\_ ELABORO \_\_\_\_\_  
 PLANTA \_\_\_\_\_ REVISO \_\_\_\_\_  
 UBICACION \_\_\_\_\_ FECHA \_\_\_\_\_

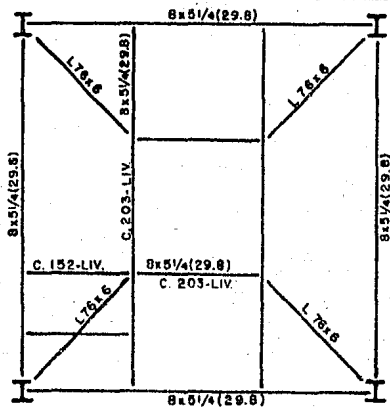


PLANTA N. + 35.980

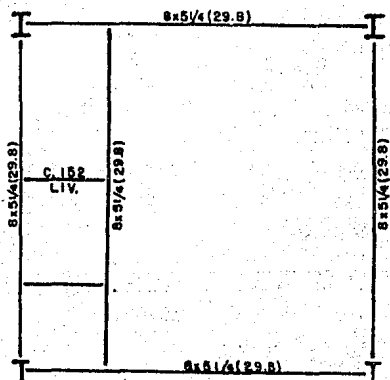


PLANTA N. + 43.600  
 FIGURA 5d

PROY.	HOJA	DE
CLIENTE	ELABORO	
PLANTA	REVISO	
UBICACION	FECHA	

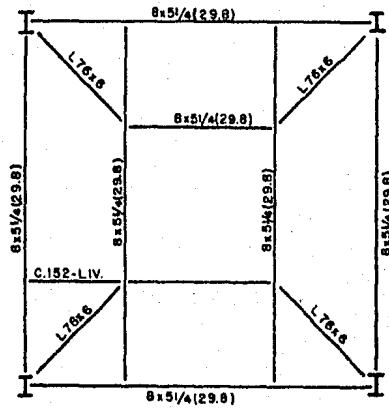


PLANTA N.+ 5I.220

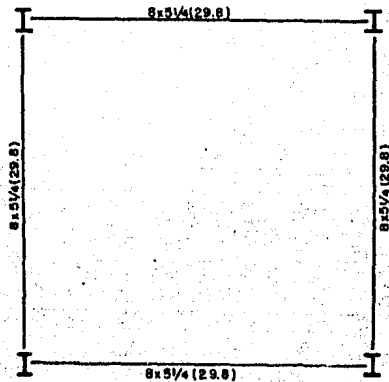


PLANTA N.+ 58.840  
FIGURA 5e

PROY. \_\_\_\_\_ HOJA DE \_\_\_\_\_  
CLIENTE \_\_\_\_\_ ELABORO \_\_\_\_\_  
PLANTA \_\_\_\_\_ REVISO \_\_\_\_\_  
UBICACION \_\_\_\_\_ FECHA \_\_\_\_\_



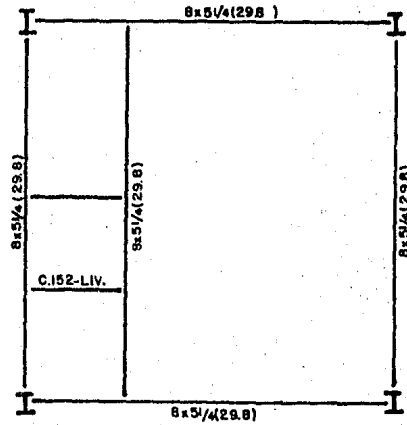
PLANTA N. + 66.460



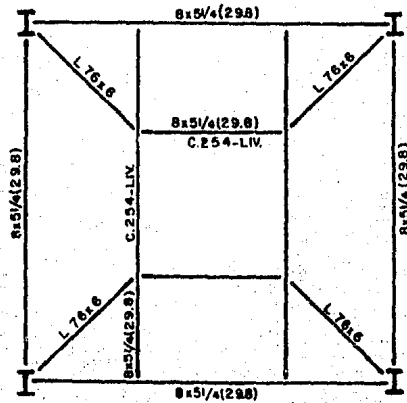
PLANTA N. + 71.540

FIGURA 5f

PROY. _____	HOJA _____ DE _____
CLIENTE _____	ELABORO _____
PLANTA _____	REVISO _____
UBICACION _____	FECHA _____



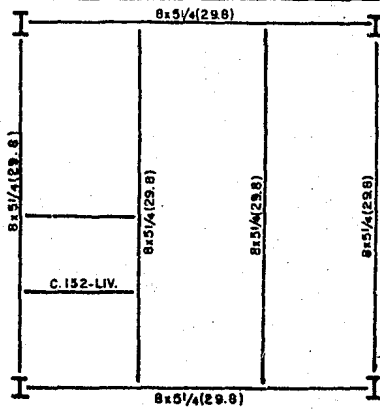
PLANTA N. +76.620



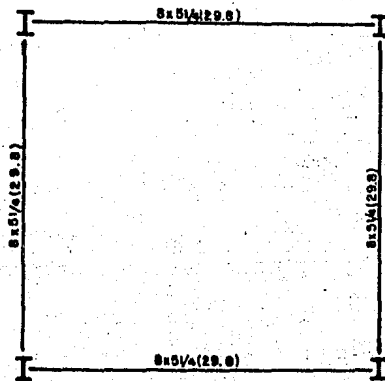
PLANTA N. + 81.700

FIGURA 5g

PROY. \_\_\_\_\_ HOJA \_\_\_\_\_ DE \_\_\_\_\_  
CLIENTE \_\_\_\_\_ ELABORO \_\_\_\_\_  
PLANTA \_\_\_\_\_ REVISO \_\_\_\_\_  
UBICACION \_\_\_\_\_ FECHA \_\_\_\_\_



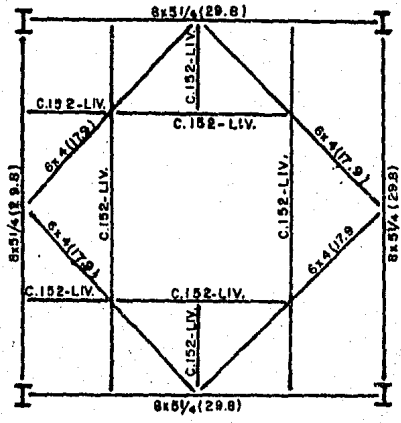
PLANTA N. + 83.787



PLANTA N. + 88.003

FIGURA 5h

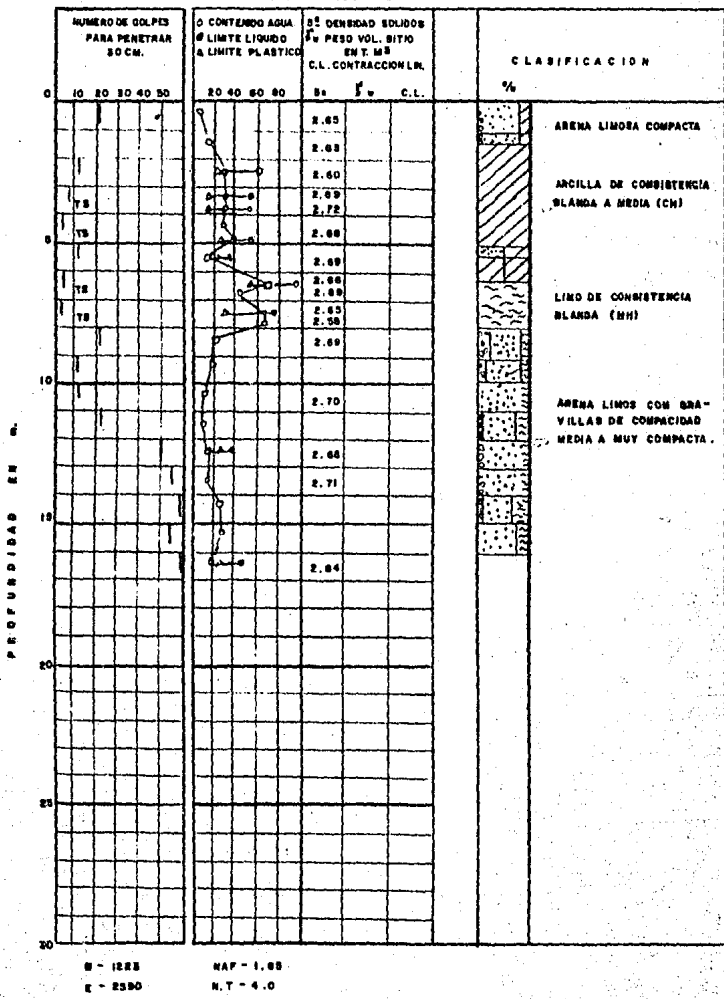
PROY. \_\_\_\_\_ HOJA \_\_\_\_\_ DE \_\_\_\_\_  
CLIENTE \_\_\_\_\_ ELABORO \_\_\_\_\_  
PLANTA \_\_\_\_\_ REVISO \_\_\_\_\_  
UBICACION \_\_\_\_\_ FECHA \_\_\_\_\_



PLANTA N. + 92.219  
FIGURA 5k



### FIGURA 6a



S - 1223      NAF - 1.05  
 E - 2530      NT - 4.0

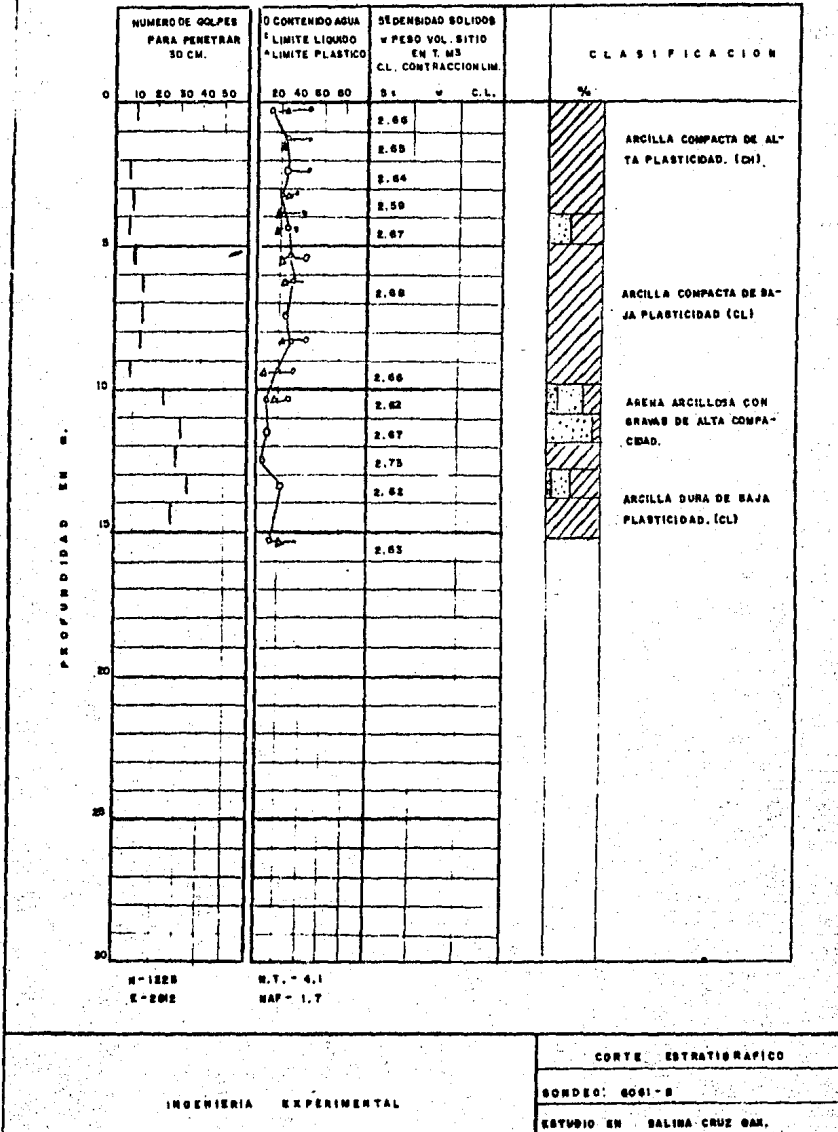
CORTE ESTRATIGRAFICO

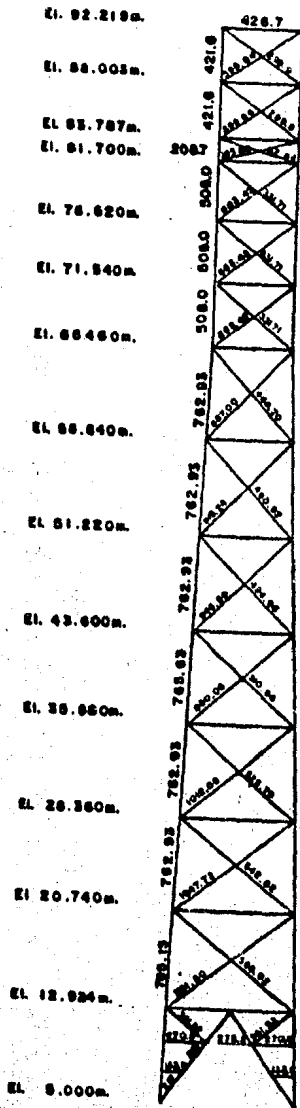
SONDEO 8061

INGENIERIA EXPERIMENTAL

ESTUDIO EN: SALINA CRUZ OAX.

FIGURA 6b





LONGITUDES DE BARRAS Y VIGAS (EN cms).

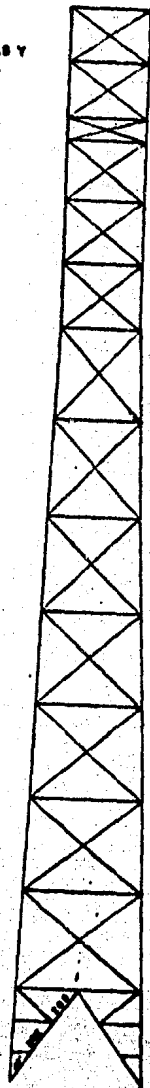


FIGURA 7

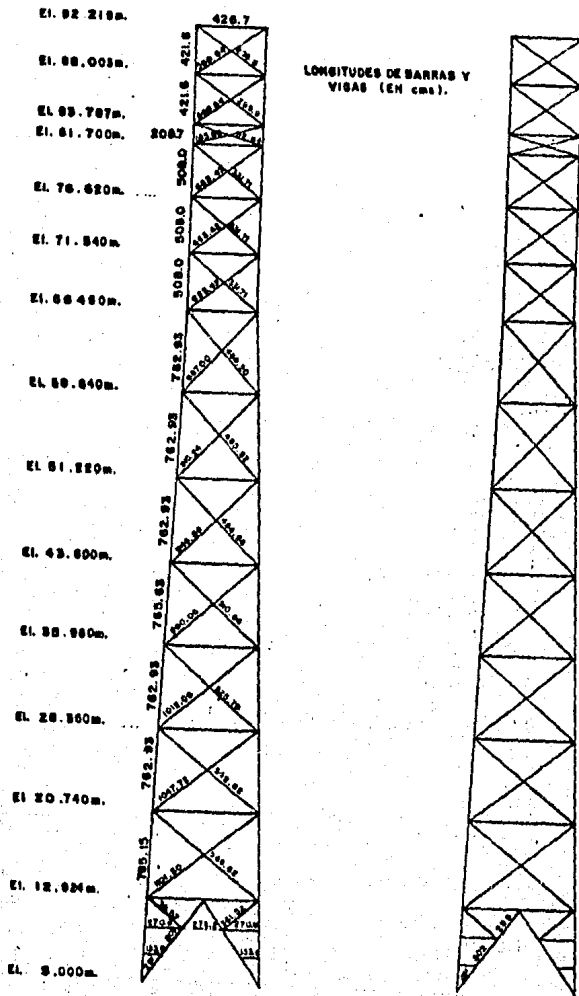
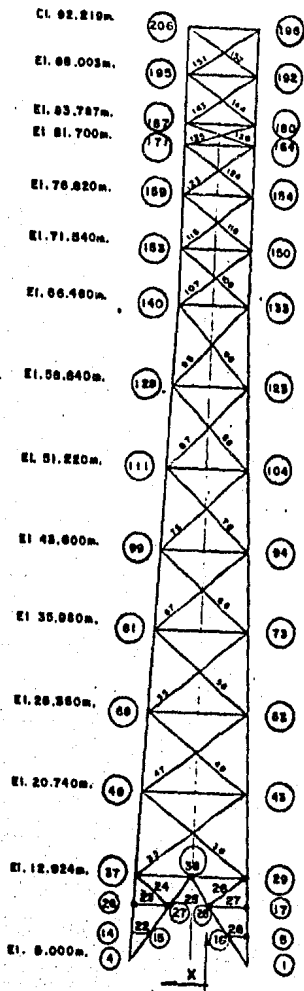


FIGURA 7



BARRAS 1/2

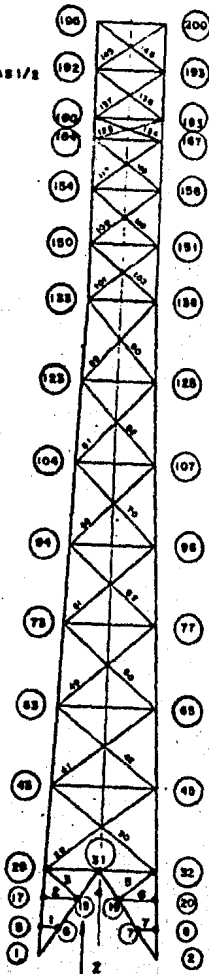


FIGURA 8a

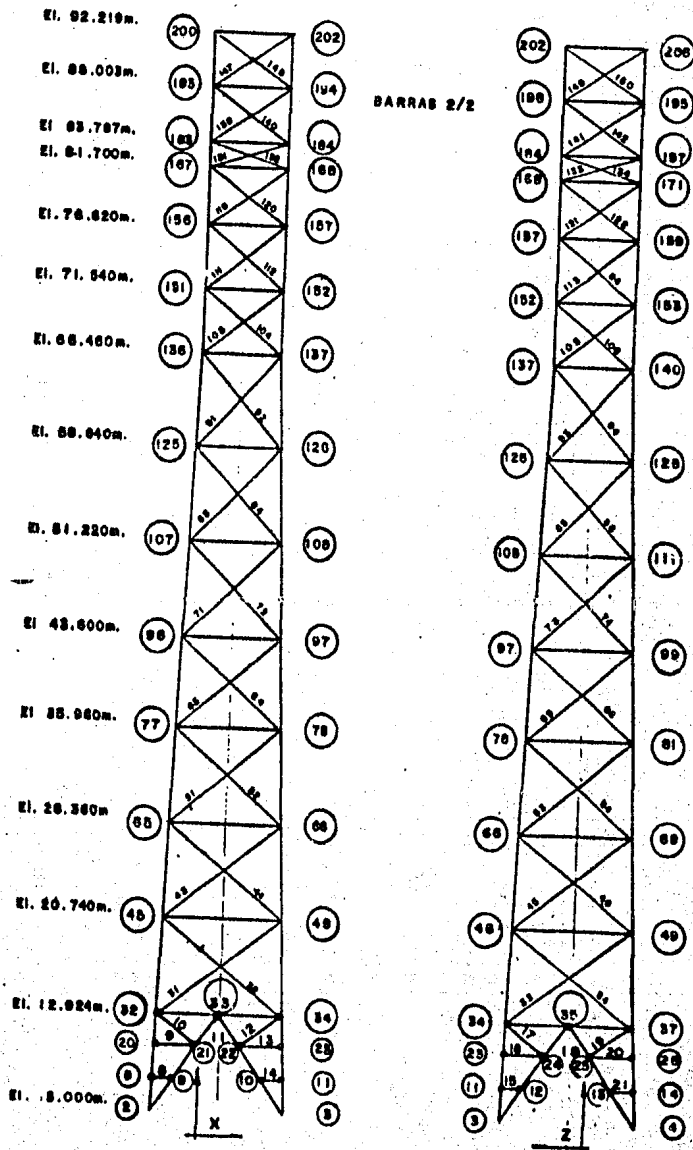
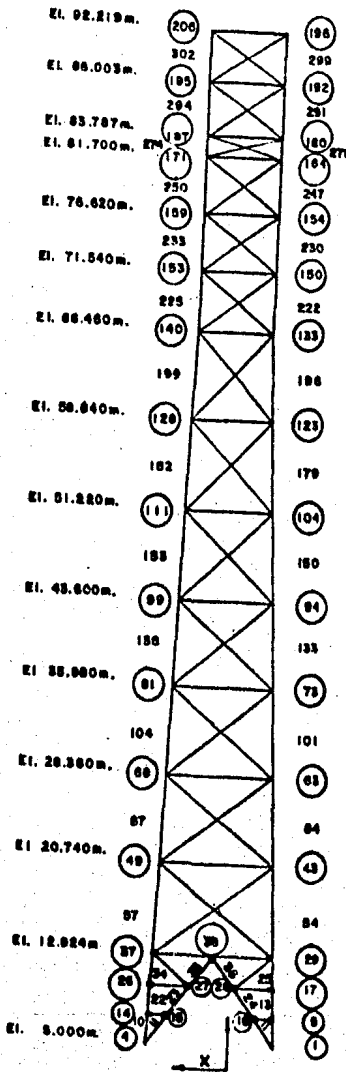


FIGURA 8b



VIGAS 1/2

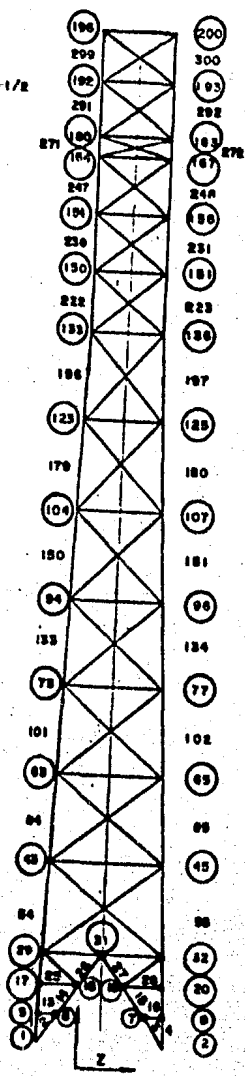
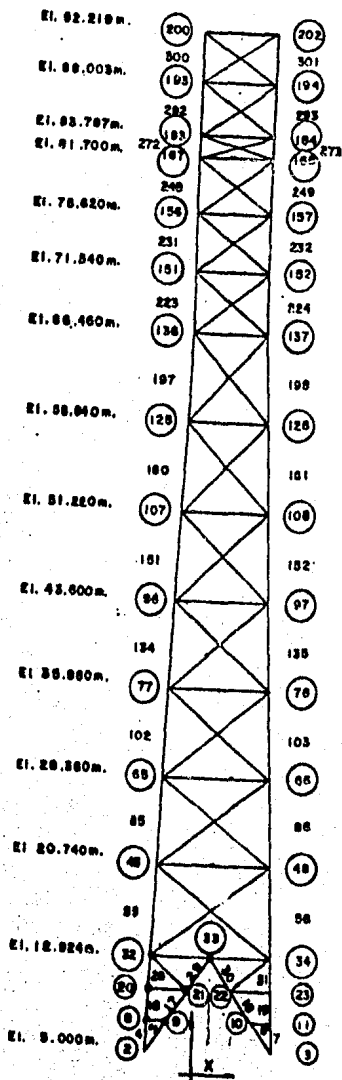


FIGURA 8c



VIGAS 2/2

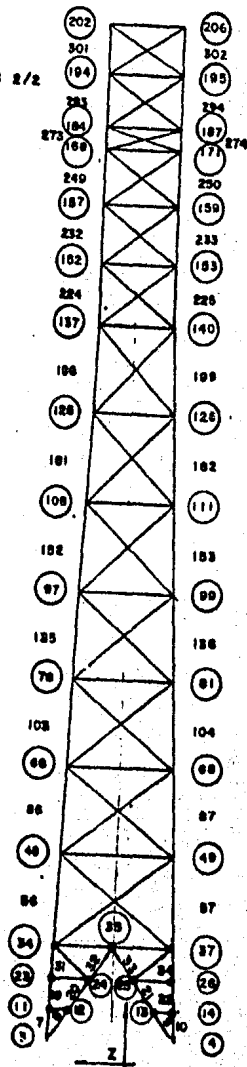


FIGURA 8d



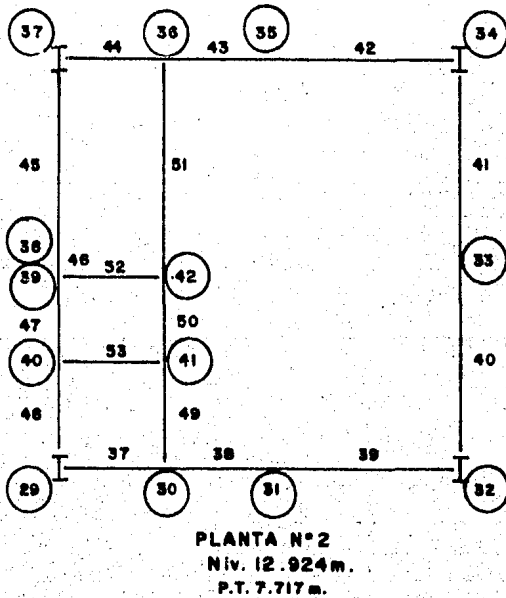
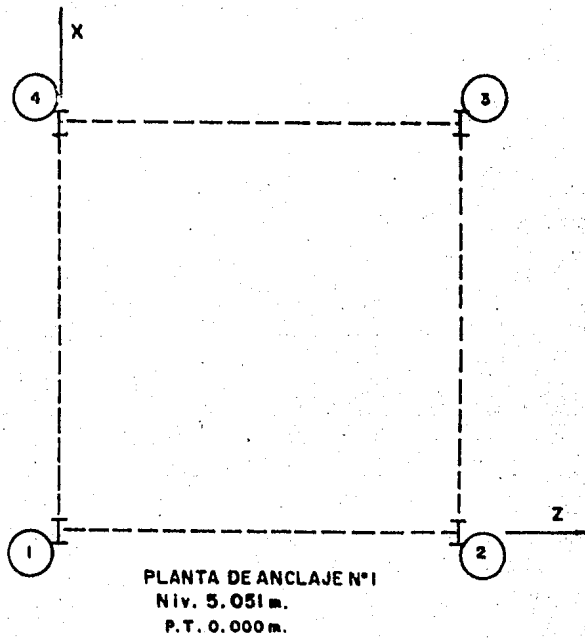
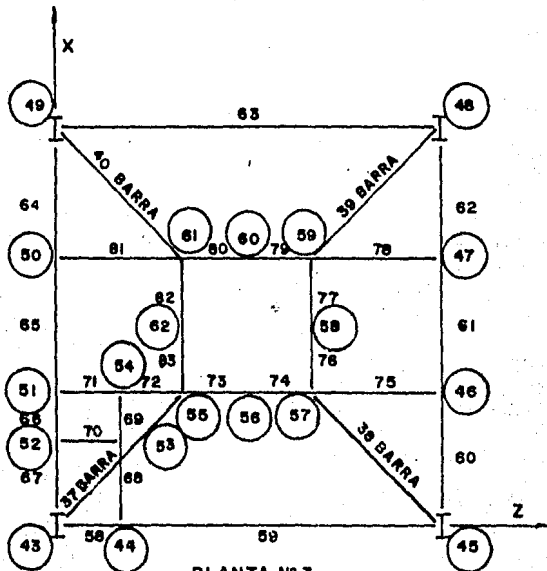
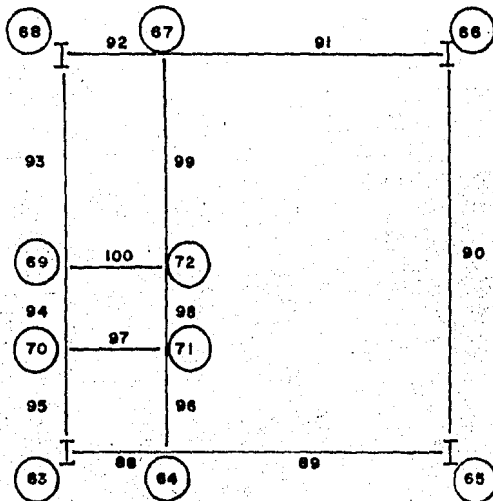


FIGURA 8e



PLANTA N° 3  
 Niv. 20.740 m.  
 P.T. 15.559 m.



PLANTA N° 4  
 Niv. 28.360 m.  
 P.T. 23.179 m.

FIGURA 8f

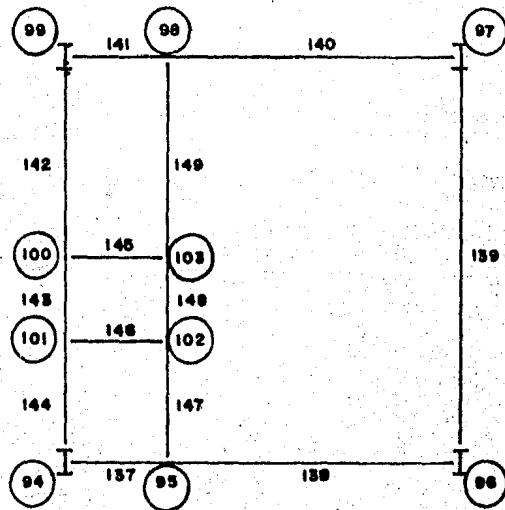
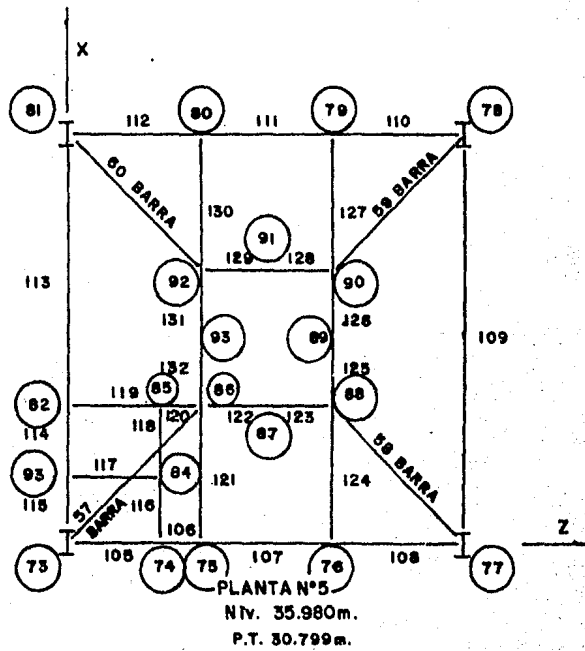


FIGURA 8g

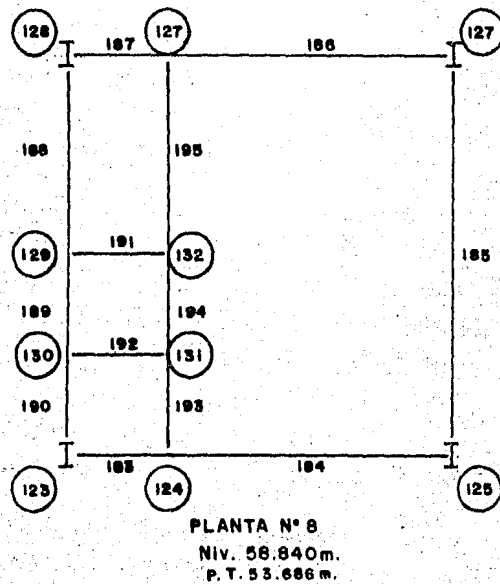
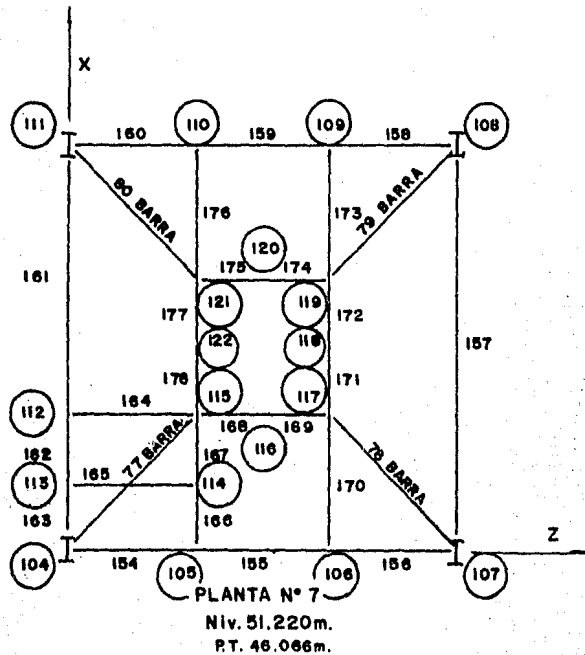
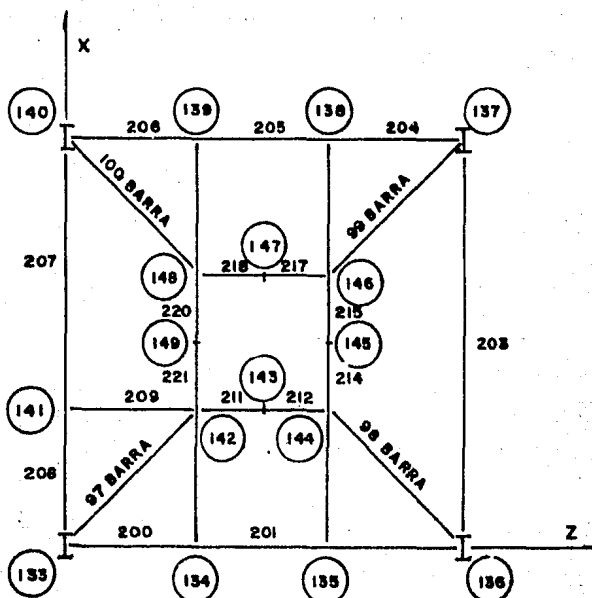
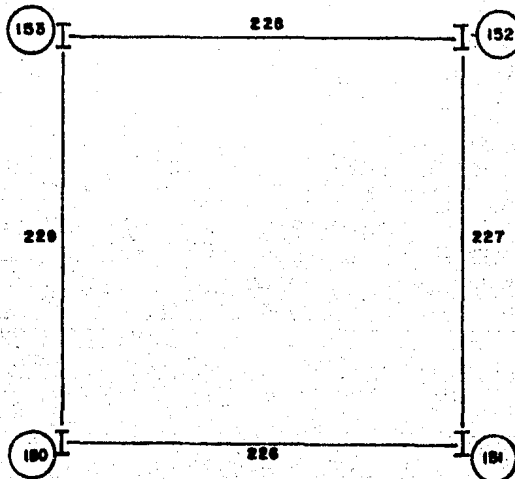


FIGURA 8h



PLANTA Nº 9  
 Niv. 66.460m.  
 P.T. 61.306m.



PLANTA Nº 10  
 Niv. 71.540m.  
 P.T. 66.386m.

FIGURA 8k

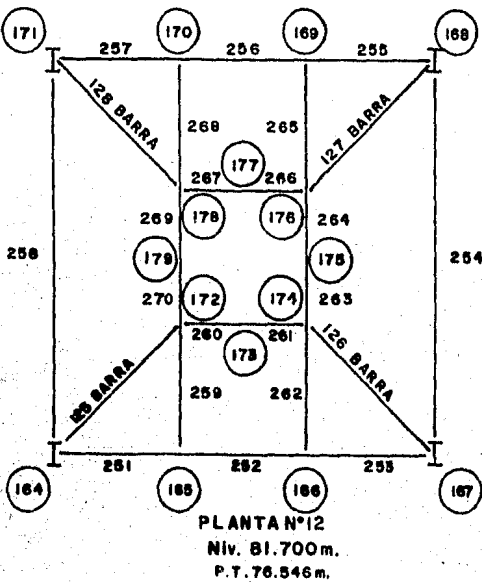
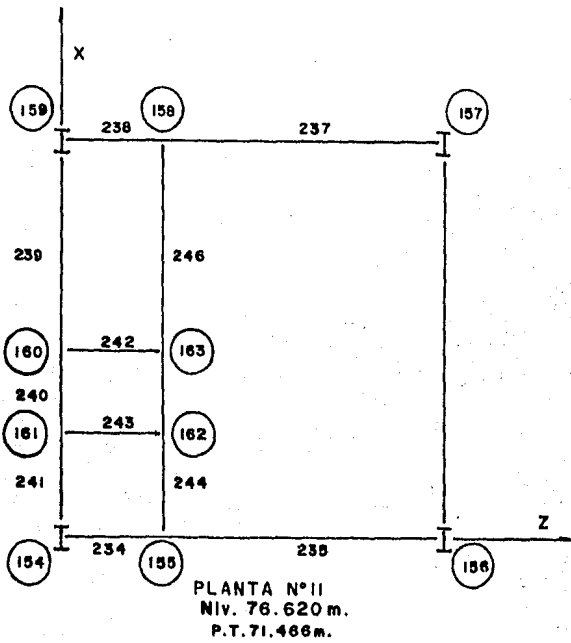
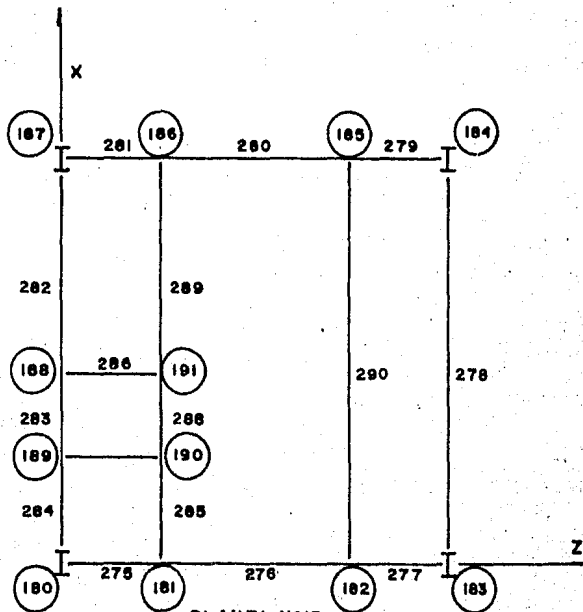
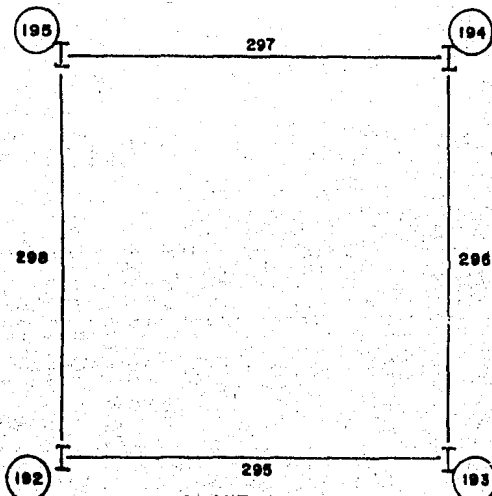


FIGURA 8L

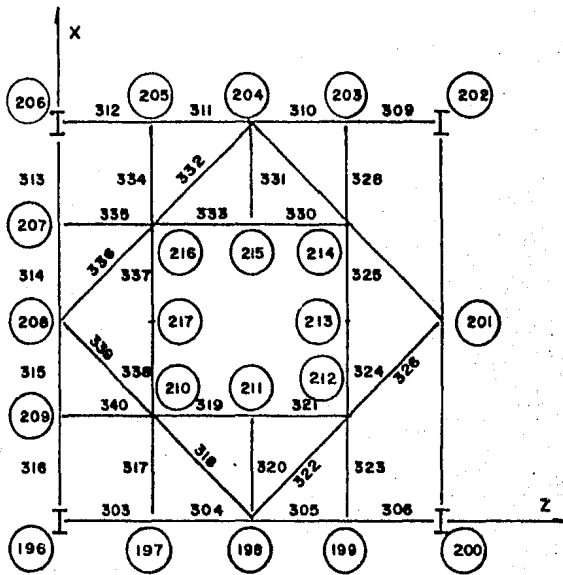


PLANTA N°13  
 Niv. 83.787 m.  
 P.T. 78.633 m.



PLANTA N°14  
 Niv. 88.003 m.  
 P.T. 82.949 m.

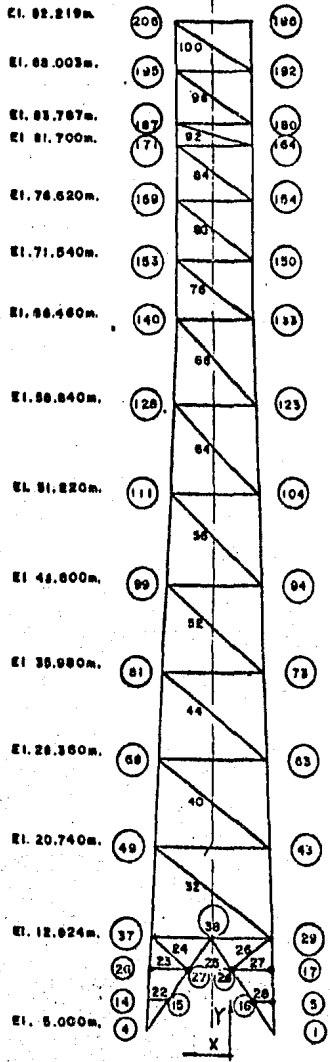
FIGURA 8m



PLANTA N° 15  
 Niv. 92.219  
 P.T. 67.065 m.

FIGURA 8p





BARRAS 1/2

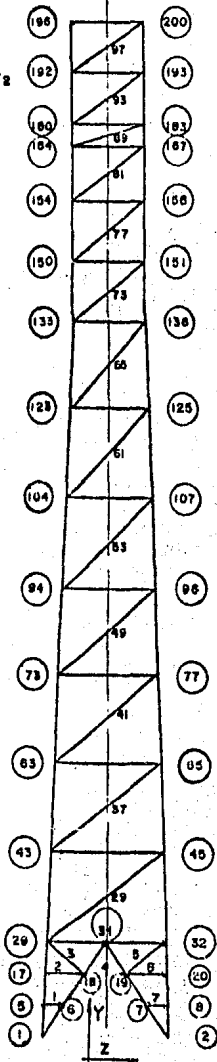


FIGURA 9a

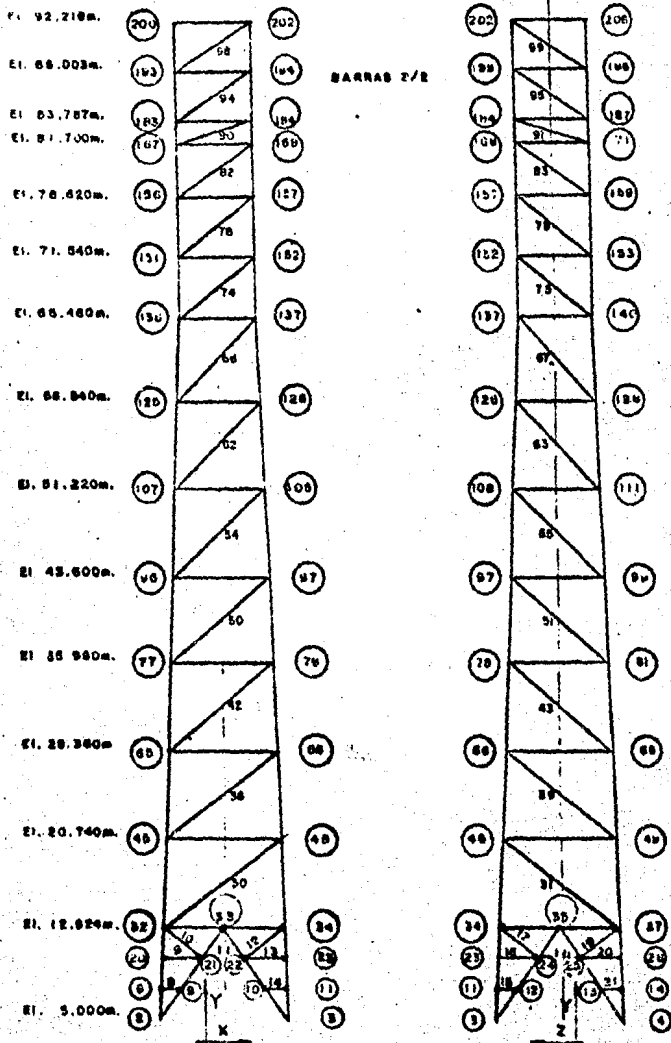


FIGURA 9b