

16



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"ARAGON"**

**"ANALISIS SISMICO ESTATICO Y DISEÑO
ESTRUCTURAL DE UNA CHIMENEA METALICA
A PISO AUTOSOPORTADA".**

T E S I S
Q U E P R E S E N T A :
N A B O R M O R A L E S G R A N A D O S
P A R A O B T E N E R E L T I T U L O D E :
I N G E N I E R O C I V I L

SAN JUAN DE ARAGON, EDO. DE MEX.

2000



275157



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGÓN
DIRECCION

NABOR MORALES GRANADOS
PRESENTE.

En contestación a la solicitud de fecha 7 de octubre del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. AMILCAR GALINDO SOLÓRZANO pueda dirigirle el trabajo de tesis denominado, "ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA CHIMENEA METÁLICA A PISO AUTOSOPORTADA", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, México., 20 de octubre de 1998
EL DIRECTOR

Lic. CARLOS EDUARDO



- c c p Secretaría Académica.
- c c p Jefatura de la Carrera de Ingeniería Civil..
- c c p Asesor de Tesis.

CELV/AIR/MCA/IIa.

A USTED

EUSTOLIA FIDELINA GRANADOS ARZOLA.
MI MADRE.

A usted, que me dio la vida.

A usted, que siempre estará conmigo.

A usted, que desde siempre ha sido lo más querido.

A usted, Sabiendo que jamás existirá una
forma de agradecerle una vida de
lucha, sacrificio y esfuerzo constantes,
sólo deseo que comprenda que el logro
mío; es suyo, que mi esfuerzo es inspirado
en usted.

A usted le dedicó éste trabajo.

Con respeto y admiración.

A MIS HERMANOS.

ANTONIO
RIGOBERTO
RODOLFO
CARLOS

Porque gracias a su apoyo, esfuerzo y comprensión;
me han inspirado confianza impulsándome a obtener
uno de mis principales objetivos.

Con cariño y respeto.

A MI ABUELA.

HERMENEGILDA ARZOLA GRANADOS

En agradecimiento por el cariño
que siempre me ha brindado.

A Felipe
Enrique
Marisol
Jorge
Patricia
mis primos

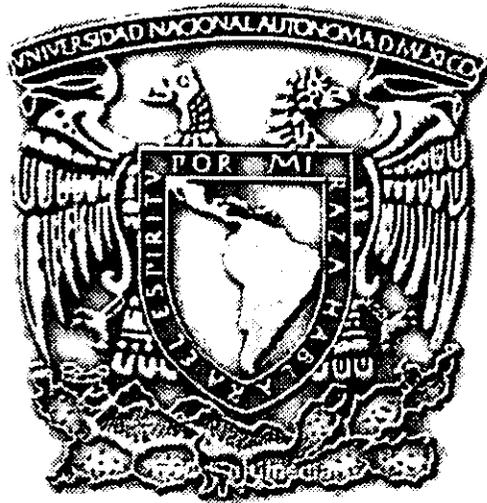
A LA MEMORIA DE MI PADRE (+).

En testimonio de gratitud ilimitada
por el sacrificio realizado
mismo que hoy posibilito la conquista
de esta meta:

Mi formación profesional.

A LA MEMORIA DE MI ABUELO (+).

Por el cariño que me brindo.



A la Escuela Nacional de Estudios Profesionales Aragón.
En agradecimiento por la preparación recibida en sus instalaciones.

A MIS PROFESORES.

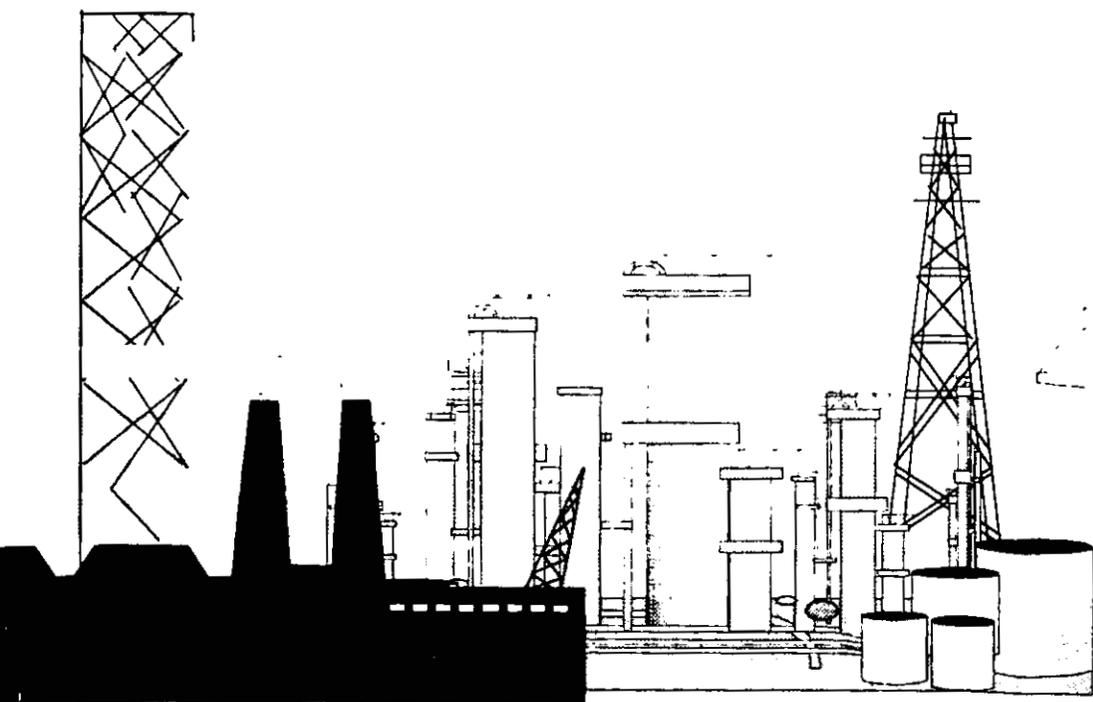
Por los conocimientos adquiridos.

AL ING. AMILCAR GALINDO SOLORZANO.

Por el asesoramiento y dirección de este trabajo.

Al Instituto Mexicano del Petróleo por la oportunidad
brindada de utilizar sus instalaciones para la realización
de este trabajo.

Al Ingeniero Erasmo Arellano Magarín por la asesoría brindada
durante el desarrollo del mismo.



"ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA CHIMENEA METÁLICA A PISO AUTOSOPORTADA"

ÍNDICE

1 - INTRODUCCIÓN

- 1 1 Objetivo
- 1 2 Alcance

2 - GENERALIDADES SOBRE CHIMENEAS

- 2 1 Clasificación de chimeneas
 - 2 1 1 Por efecto del tiro
 - 2 1 2 Por ductos independientes dentro de una misma envoltura estructural
 - 2 1 3 De acuerdo a la forma de soportar las fuerzas horizontales
 - 2 1 3 1 Chimeneas soportadas
 - 2 1 3 2 Chimeneas autosoportadas
 - 2 1 4 Según el material empleado

3 - NORMATIVIDAD PARA EL ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO Y DISEÑO DE CHIMENEAS

- 3 1 Códigos y normas aplicables
- 3 2 Consideraciones generales para el análisis sísmico de acuerdo a la normatividad vigente
 - 3 2 1 Consideraciones para el análisis sísmico de chimeneas
 - 3 2 2 Consideraciones para el diseño de la chimenea
- 3 3 Localización de plataformas para puertos de muestreo en chimeneas

4 - DESCRIPCIÓN DE LA CHIMENEA

- 4 1 Características y dimensionamiento
- 4 2 Evaluación de cargas gravitacionales
- 4 3 Evaluación de cargas sísmicas de acuerdo al manual de la C.F.E
- 4 4 Programa de cómputo para determinar las cargas gravitacionales y sísmicas

5 - ANÁLISIS ESTRUCTURAL CON EL PROGRAMA ROBOT V6

- 5.1 Descripción general del programa
- 5.2 Modelo de análisis e información requerida
- 5.3 Análisis estructural
- 5.4 Evaluación e interpretación de resultados

6 - DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA CHIMENEA

- 6.1 Revisión de los estados límite de servicio
 - 6.1.1 Evaluación de los desplazamientos
- 6.2 Revisión de los estados límite de falla
 - 6.2.1 Cálculo de espesores de placa
 - 6.2.2 Determinación de los elementos en la base
(espesor de placas, pernos de anclaje, etc)
 - 6.2.3 Refuerzo estructural en los huecos para conexión de ductos

7 -CONCLUSIONES

REFERENCIAS

ANEXO A

ANEXO B

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN.

PETRÓLEOS MEXICANOS (PEMEX) para los procesos industriales de refinación del petróleo y elaboración de productos petroquímicos, requiere de un gran suministro de calor para lo cual utiliza equipos de combustión que le permitan realizar satisfactoriamente dichos procesos en las plantas petroquímicas y de refinación instaladas en los diferentes centros petroleros de la República Mexicana.

Uno de los equipos más importantes que utiliza **PEMEX** para tal propósito son los Calentadores a Fuego Directo (CAFD). Estos equipos a través de la zona de radiación, parte del calentador donde se efectúa el quemado de combustible, suministran una gran cantidad de calor al fluido de proceso de refinación que circula a través de una serie de tubos denominado serpiente.

Como resultado del quemado del combustible (fenómeno que se lleva a cabo en la zona de radiación del calentador como se mencionó anteriormente) se generan gases que requieren ser desalojados lo cual se realiza a través de chimeneas metálicas; ya sea que éstas se encuentren instaladas sobre la propia estructura del calentador o bien, apoyadas directamente a piso.

Esta gran actividad industrial de **PEMEX** puede ocasionar niveles indeseables de contaminación del aire; esto último como resultado del quemado del combustible.

PETRÓLEOS MEXICANOS ante tal situación y preocupado por mantener un control de contaminación del aire, así como por la restauración del medio ambiente, considera que dichas acciones no sólo son una obligación impuesta por las normas ecológicas, sino más bien las considera como una responsabilidad moral ante la sociedad.

Por lo anterior, las chimeneas son equipos que cumplen una función muy importante en el desalojo y control de la emisión de contaminantes derivado de la combustión de combustibles en los Calentadores a Fuego Directo.

Las chimeneas generalmente son equipos esbeltos y para garantizar su estabilidad estructural ante la acción sísmica, deben emplearse métodos de análisis y diseño donde se consideren adecuadamente todos los parámetros de acuerdo a la reglamentación vigente.

En la presente tesis se desarrollará la metodología de un **“Análisis sísmico estático y diseño estructural de una chimenea metálica a piso autosoportada”** para dos calentadores a fuego directo conforme a los criterios de diseño que establece el **Manual de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) edición 1993, Reglamento de Construcciones del Distrito Federal, etc.**

Con el propósito de realizar dicha metodología de cálculo, (considerando la zona sísmica más crítica) se supondrá que los calentadores se localizarán en la Refinería Ing. Antonio Dovalí Jaime, de Salina Cruz, Oaxaca, por encontrarse ésta en la zona “D”, y que de acuerdo a la regionalización sísmica de la República Mexicana (Fig. 3.1) dicha zona se considera como la de más alta sismicidad.

En el capítulo 2 se describen los aspectos generales sobre la clasificación de chimeneas, de acuerdo a diversos criterios como son: efecto de tiro, número de ductos independientes contenidos dentro de una misma envoltura estructural, de acuerdo a la forma de soportar las fuerzas horizontales, así como al material estructural empleado en su construcción, los cuáles hacen diferenciar a una **chimenea soportada de una chimenea autosoportada.**

En el capítulo 3 se describen los parámetros y requisitos para el análisis sísmico estático de chimeneas establecidos en el **Manual de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad (edición 1993), Reglamento de Construcciones del Distrito Federal y las Normas Técnicas Complementarias respectivas;** así como los requerimientos para la instalación de plataformas y puertos de muestreo en chimeneas establecidos por las normas oficiales mexicanas del medio ambiente para el control de emisiones contaminantes.

El capítulo 4 se refiere a la descripción de la geometría de la chimenea, así como a la evaluación de cargas gravitacionales (verticales) y por sismo (en ambos casos considerando el peso propio de sus componentes dentro de los cuales se encuentran; placas, refractario, perfiles, plataformas y cargas vivas en estas últimas, etc.) a lo largo y en puntos de interés sobre la chimenea. Para facilitar la evaluación de las cargas anteriores, se desarrolló un programa de cómputo (ver anexo B) en lenguaje "QuickBASIC" el cual nos permite con rapidez obtener las cargas antes señaladas.

Se describe también la metodología para la evaluación de fuerzas horizontales debido a sismo tomando en cuenta la reglamentación vigente.

Para el análisis estructural de la chimenea en el capítulo 5 se describe el programa de análisis empleado (ROBOT V6) que nos permite modelar ya sea como elemento placa o viga la chimenea en cuestión. En este caso, la chimenea se modela y se analizará como placa considerando todos los elementos rigidizantes sobre la estructura, tales como perfiles longitudinales y circunferenciales, etc., como se indica en el modelo respectivo de análisis.

En el capítulo 6 se efectúa una revisión de los estados límites de falla y de servicio en la chimenea. Lo anterior con el propósito de cumplir con la reglamentación vigente y garantizar la estabilidad así como un comportamiento estructural adecuado del equipo.

En el capítulo 7 se concluyen y comentan los aspectos más relevantes sobre el análisis estructural y diseño de la chimenea metálica a piso autosoportada que se presenta en este trabajo de tesis.

1.1 **OBJETIVO.**- Desarrollar una metodología de cálculo para el “Análisis sísmico estático y diseño estructural de una chimenea metálica a piso autoportada” común a dos Calentadores a Fuego Directo, de acuerdo a la reglamentación vigente.

1.2 **ALCANCE.**- El presente trabajo de tesis tiene como propósito fundamental desarrollar una metodología de cálculo que contribuya a la definición de criterios de análisis estructural y diseños más racionales donde se consideren apropiadamente todos los parámetros y factores sísmicos. Lo anterior con el fin de reducir los costos en la construcción de este tipo de equipos sin menoscabo de sus niveles de seguridad estructural.

Por otro lado, es importante señalar que la chimenea se analizará y diseñará, considerando su ubicación en la Refinería de Salina Cruz, Oax. Lo anterior tomando en cuenta que, en cuanto a su localización, se trata de una de las zonas sísmicas (zona “D” de acuerdo a la regionalización sísmica de la República Mexicana) más críticas y por lo cual puede obtenerse una respuesta máxima de la chimenea por efectos sísmicos.

CAPITULO 2

GENERALIDADES SOBRE CHIMENEAS.

Las **chimeneas** son estructuras utilizadas principalmente para (como se comentó con anterioridad) desalojar los gases producto de la combustión que se lleva a cabo en los calentadores a fuego directo (CAFD) y así contribuir a que la dispersión y contaminación de dichos gases cumplan con las normas ecológicas vigentes, en nuestro país.

Es importante señalar que instituciones gubernamentales protectoras del medio ambiente como lo fue la SEDUE y SEDESOL, actualmente Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), han establecido normas como la señalada en el "instructivo de localización de plataformas y puertos de muestreo" (CCAT-FF-001 NMX-AA-09-1993-SCFI) para fijar la altura de las chimeneas, así como localización de puertos de muestreo para el control de emisiones de contaminantes, con el propósito de evitar molestias a los habitantes aledaños al lugar donde se encuentran instalados estos equipos.

2.1 CLASIFICACIÓN DE CHIMENEAS.

Las chimeneas pueden clasificarse según diversos criterios como los que se indican a continuación:

2.1.1 **POR EFECTO DE TIRO.** Por el sistema utilizado para lograr una velocidad adecuada del flujo para la expulsión de los gases dentro del fuste de la chimenea, estas pueden clasificarse de dos maneras.

a) TIRO NATURAL.

b) TIRO POR MEDIOS MECÁNICOS.

a) CHIMENEAS DE TIRO NATURAL. Cuando el movimiento de los gases se debe a la presencia de diferencias de temperatura y densidades del aire exterior y de los gases de combustión así como de la altura de la chimenea. Este tipo de estructuras se muestra en la fig.2.1.1a.

b) TIRO POR MEDIOS MECÁNICOS. Los medios mecánicos para obtener el tiro se dividen en tres:

b.1) CHIMENEAS DE TIRO INDUCIDO. Es el que se produce por un ventilador entre el calentador y la chimenea, el cual extrae los gases de combustión del calentador impulsándolos hacia la chimenea. Este proceso se muestra en la fig.2.1.1b.

b.2) CHIMENEAS DE TIRO FORZADO. Es el que se logra mediante un ventilador que suministra aire a los quemadores del calentador, tal como se aprecia en la fig.2.1.1c.

b.3) CHIMENEAS DE TIRO BALANCEADO. Es el que se obtiene mediante dos ventiladores, uno que suministra aire al calentador por los quemadores y otro que extrae los gases de combustión del calentador; este tipo de estructuras se describe en la fig.2.1.1d.

2.1.2 POR DUCTOS INDEPENDIENTES DENTRO DE UNA MISMA ENVOLTURA ESTRUCTURAL.

La cual se presenta en la fig.2.1.2a y b.

GENERALIDADES SOBRE CHIMENEAS.

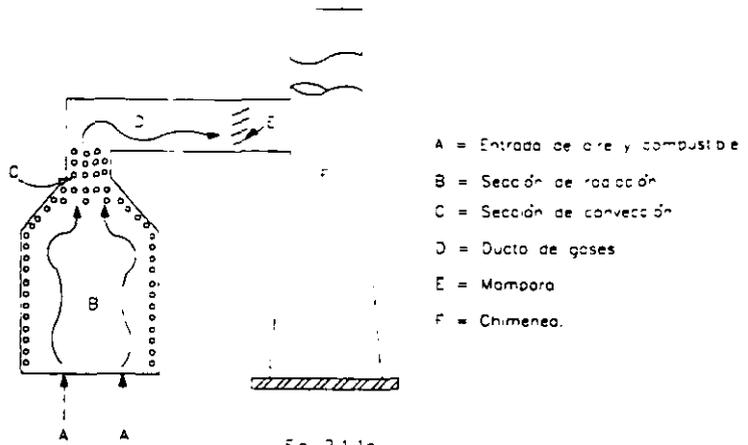


Fig. 2.1 a.
TIRO NATURAL

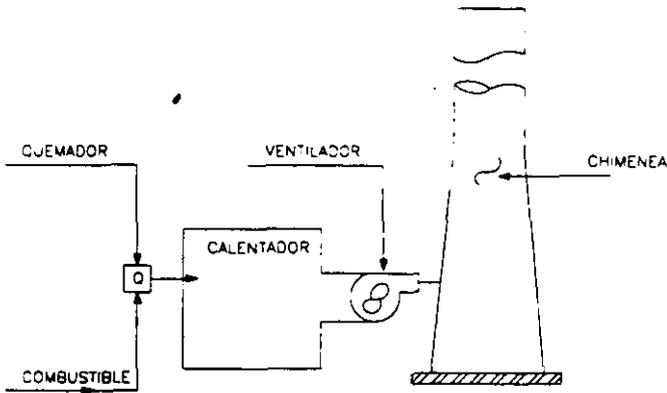


Fig. 2.1 b.
TIRO INDUCIDO

	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGÓN
	ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA CHIMENEA METÁLICA A PISO AUTOSOPORTADA
TESIS PROFESIONAL QUE PRESENTA HABOR MORALES GRANADOS PARA OBTENER EL TÍTULO DE: INGENIERO CIVIL	

GENERALIDADES SOBRE CHIMENEAS.

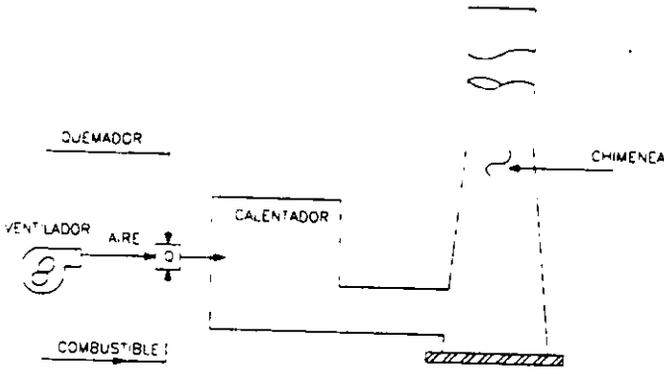


Fig. 2.11c
TIRO FORZADO

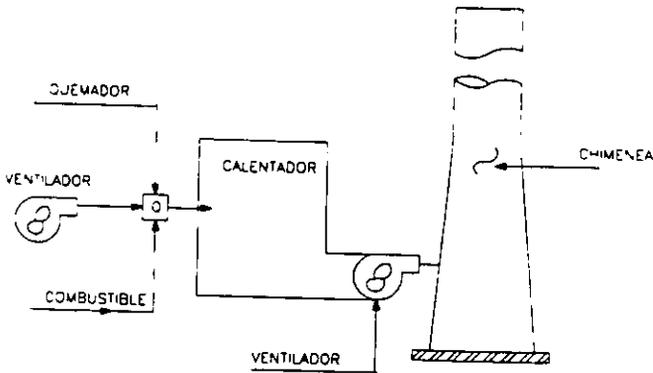


Fig. 2.11d
TIRO BALANCEADO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGÓN

ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO Y DISEÑO ESTRUCTURAL
DE UNA CHIMENEA METÁLICA A PISO AUTOSOPORTADA

TESIS PROFESIONAL QUE PRESENTA
HABOR NORRALES GRANADOS
PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

GENERALIDADES SOBRE CHIMENEA.

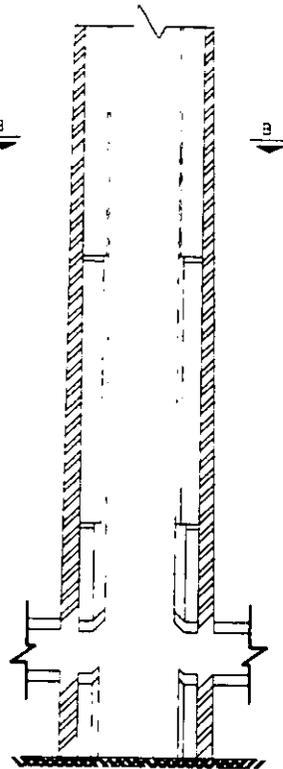
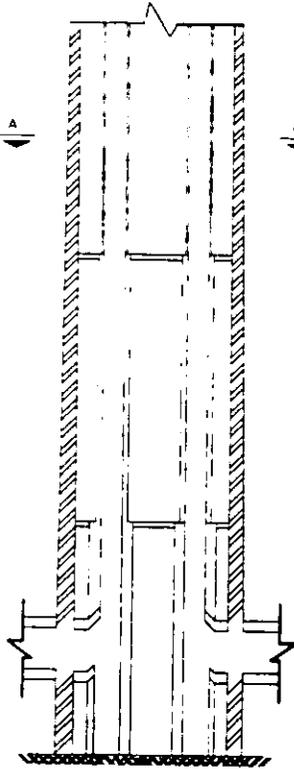
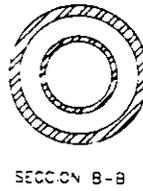
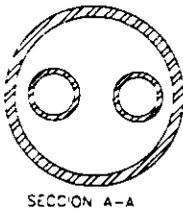


Fig 2 ' 2a CHIMENEA DE DUCTO DOBLE

Fig 2 ' 2b CHIMENEA DE DUCTO SIMPLE

	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
	ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON
	ANALISIS SISMICO ESTATICO Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA CHIMENEA METALICA A RISQ AUTOSOPORTADA
	TESIS PROFESIONAL QUE PRESENTA: NABOR MORALES GRANADOS PARA OBTENER EL TITULO DE: INGENIERO CIVIL

2.1.3 DE ACUERDO A LA FORMA DE SOPORTAR LAS FUERZAS HORIZONTALES.

En soportadas y autoportadas.

2.1.3.1 **CHIMENEAS SOPORTADAS.** Dentro de este tipo de estructuras se encuentran las chimeneas que por su geometría y altura no resisten por si solas la solicitación horizontal provocada por el efecto sísmico requiriendo estructuras auxiliares para ello.

A ésta clasificación pertenecen:

a) Chimeneas múltiples las cuales para mantener su estabilidad estructural se combinan como se indica en la fig. 2.1.3a.

b) Chimeneas con estructura auxiliar de soporte como se observa en la fig. 2.1.3b.

c) Chimeneas con tirantes, como la presentada en la fig. 2.1.3c.

2.1.3.2 **CHIMENEAS AUTOSOPORTADAS.** Son aquellas chimeneas que no requieren de una estructura auxiliar para soportar la solicitación horizontal debido a sismo.

Es decir, el propio fuste de la chimenea se diseña para resistir dicha solicitación.

Este tipo de chimeneas se muestran en las figuras 2.1.3.2a, b, c y d.

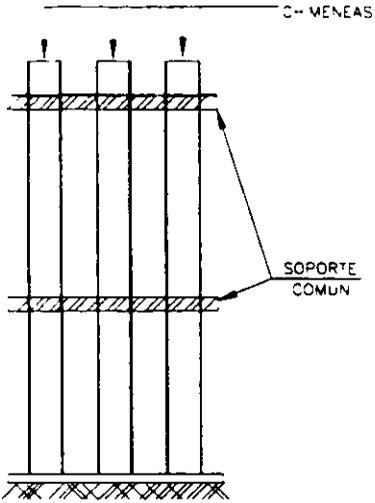
2.1.4 SEGÚN EL MATERIAL EMPLEADO.

De acuerdo al material estructural empleado en la construcción del fuste de las chimeneas estas pueden clasificarse en:

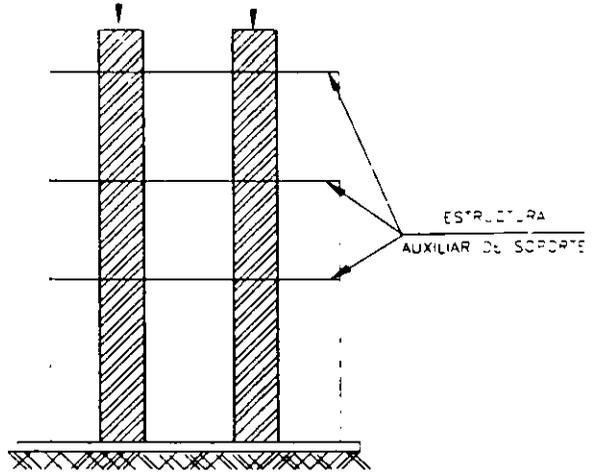
- Chimeneas de concreto.
- Chimeneas de acero.
- Chimeneas de mampostería.

En el presente trabajo de tesis se abordará únicamente el caso de análisis y diseño de una chimenea de acero.

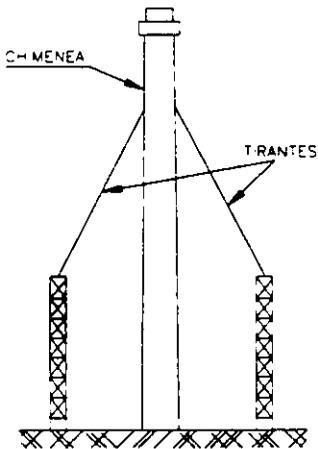
GENERALIDADES SOBRE CHIMENEAS.



2.1.3a CHIMENEAS MULTIPLES.



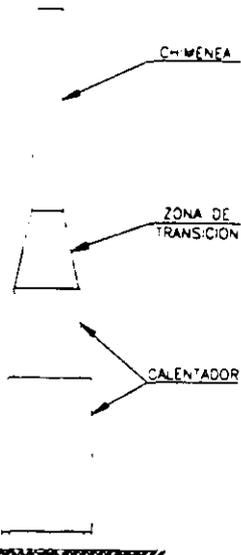
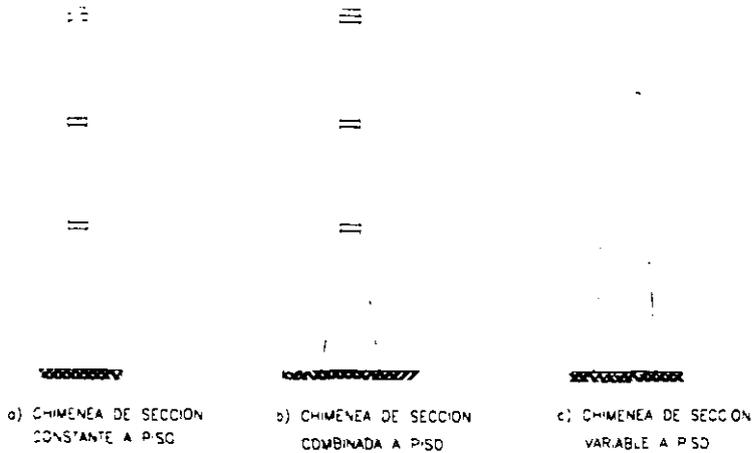
2.1.3b CHIMENEAS CON ESTRUCTURA AUXILIAR DE SOPORTE



2.1.3c. CHIMENEA CON TIRANTES.

	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGÓN
	ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA CHIMENEA METÁLICA A PISO AUTOSOPORTADA
	TESIS PROFESIONAL QUE PRESENTA HABOR MORALES CRANADOS
	PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

GENERALIDADES SOBRE CHIMENEAS.



d) CHIMENEA SOBRE CALENTADOR

Fig 2.1 3.2 CHIMENEAS AUTOSOPORTADAS.

	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGÓN ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA CHIMENEA METÁLICA A PISO AUTOSOPORTADA
	TESIS PROFESIONAL QUE PRESENTA NABOR MORALES GRANADOS PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

CAPITULO 3

**NORMATIVIDAD PARA EL ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO
Y DISEÑO DE CHIMENEAS.**

En el presente capítulo se describen los criterios para el análisis y diseño estructural de chimeneas, considerando la normatividad vigente (códigos, manuales, reglamentos, etc.) aplicables a este tipo de estructuras.

3.1 CÓDIGOS Y NORMAS APLICABLES.

El análisis y diseño estructural de chimeneas se apega a las recomendaciones y especificaciones que marcan los siguientes códigos, reglamentos y manuales:

- Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad (MDOC) Edición 1993.
- Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (RCDF).
- Código del API 560 "Fired Heaters for General Refinery Services"(Sección de chimeneas).
- Código AISC (American Institute of Steel Construction).
- Manual de Construcción en acero (IMCA).

El propósito de efectuar un análisis sísmico estático de acuerdo a la reglamentación vigente, donde se consideren todos los efectos y parámetros involucrados (de acuerdo a los estudios más recientes en la materia) es el de desarrollar criterios de análisis y diseños más racionales que reduzcan los costos económicos de estas construcciones y que garanticen a la vez sus niveles de seguridad estructural.

3.2 CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL ANÁLISIS SÍSMICO DE ACUERDO A LA NORMATIVIDAD VIGENTE.

Para el análisis sísmico estático de la chimenea que se presenta en este trabajo de tesis se utilizará el criterio que recomienda el Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad (MDOC) edición 1993, así como por lo especificado en el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (RCDF).

a) TERRENOS DE CIMENTACIÓN.

El movimiento del terreno en sitios de suelos blandos es distinto al que se presenta en terreno firme debido a la amplificación dinámica de las ondas sísmicas por efectos locales al propagarse a través de formaciones de suelos blandos. Un efecto importante que debe considerarse es que las interfaces entre estratos y las fronteras laterales de éstos, producen un fenómeno denominado "difracción múltiple" el cual genera interferencias constructivas y destructivas que a su vez originan amplificaciones y atenuaciones respectivamente de las ondas sísmicas.

La respuesta de un suelo ante la excitación sísmica depende de varios factores que están relacionados con la irregularidad de la geometría y la heterogeneidad de los materiales que conforman el depósito. Por otro lado, y con el propósito de hacer más práctica la determinación y el manejo de parámetros, así como su interpretación, esta complejidad se puede reducir si la amplificación de las ondas sísmicas, ocasionada por efectos locales se relaciona únicamente con dos parámetros que miden las características más relevantes del depósito real del terreno, como son:

- a) Período dominante de vibración.
- b) Velocidad efectiva de propagación de ondas sísmicas del sitio.

Con base a lo anterior se determinará si el terreno es del tipo I, II o III para aplicar los coeficientes sísmicos apropiados, para el caso que corresponda.

NORMATIVIDAD PARA EL ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO Y DISEÑO DE CHIMENEAS.

Como se mencionó en la introducción de este trabajo de tesis, la chimenea se localizará en la Refinería Ing. Antonio Dovali Jaime en Salina Cruz, Oax. La estratigrafía en general (de acuerdo a estudios de mecánica de suelos realizados por el Instituto Mexicano del Petróleo) de la zona donde se localiza la Refinería antes señalada son los siguientes.

Estrato	Prof. del estrato (m)	q_u (t/m^2)	C (t/m^2)	ϕ ($^\circ$)	M~ (cm^2/kg)
1) Limos arcillosos y arcillas limosas	0.50 - 7.0	8.0	3.0	7°	0.032
2) Arena limosa y Limo Arenoso	7.00 - 14.45	—	1.5	36°	—

Donde:

q_u = Resistencia a la compresión simple.

C = Cohesión.

ϕ = Ángulo de fricción interna.

M~ = Coeficiente de compresibilidad.

Se considera que la chimenea se desplantará hasta una profundidad máxima de 7.0 m.

Tomando en cuenta la estratigrafía anterior y la clasificación del tipo de terreno por el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal, dicho terreno corresponde al tipo I.

b) CLASIFICACIÓN DE ESTRUCTURAS.

El efecto de los sismos sobre las estructuras depende principalmente de las características dinámicas tanto de la estructura como del movimiento.

El problema no es fácil de definir, pues las características dinámicas del movimiento son variables, tanto para un temblor, como de uno a otro sismo, dependiendo de la distancia epicentral, profundidad focal y magnitud del sismo, así como del tipo de terreno en que estén desplantadas las estructuras.

Por lo anterior, la naturaleza de un fenómeno sísmico implica que los temblores futuros se pueden describir sólo en términos probabilistas. Por esto, es difícil $\frac{1}{2}$, imposible establecer dentro de límites prácticos la máxima intensidad sísmica que puede ocurrir en un determinado lugar; en la elección del temblor de diseño debe considerarse explícitamente la probabilidad de que su intensidad se exceda cuando menos una vez durante la vida útil supuesta para la estructura.

Resulta entonces, que aún la recomendación más conservadora no proporcione una protección absoluta contra el temblor más intenso que pudiera ocurrir, ni parece haber dentro de un rango práctico tal límite superior.

La filosofía del diseño sísmico, adoptada por la mayor parte de los reglamentos de construcción de los países (como el nuestro) que tienen problemas sísmicos, establecen la necesidad de diseñar las estructuras para resistir sin daños, sismos de baja intensidad, de ocurrencia relativamente frecuente; prevenir daños estructurales y minimizar daños no estructurales que pudieran ocurrir en movimientos sísmicos ocasionales de intensidad media y evitar el colapso o daños estructurales permanentes en aquellos casos de movimientos sísmicos extremos, pero de ocurrencia baja permitiendo daños no estructurales y aún estructurales. Esto obedece, como se indicó anteriormente a motivos económicos considerando muy baja la probabilidad de que se presente un sismo muy intenso, igual o mayor que el propuesto para diseño durante la vida útil de la estructura.

Por consiguiente, los criterios de diseño sísmico se fundamentan en la aceptación de la posibilidad de colapso de toda la estructura, por muy remoto que se considere el evento, lo cual conduce a que unas estructuras han de protegerse contra el colapso en mayor grado que otras de acuerdo con su IMPORTANCIA.

Ante esta situación, las solicitudes que se adopten para el diseño sísmico de una estructura deben ser función tanto de la probabilidad de temblores que puedan ocurrir en el sitio de interés, como del grado de seguridad requerido para la estructura en análisis, el cuál es función creciente de la pérdida que implicaría su falla pero función decreciente de la rapidez de variación de su costo con respecto a su resistencia.

Por otro lado, las solicitaciones de diseño también dependen del sistema estructural de los elementos y materiales de la estructura así como de los detalles de diseño y construcción, los cuales determinan la forma de falla.

Es importante considerar estos aspectos estructurales mediante dos conceptos:

- Características estructurales para soportar cargas sísmicas.

• Capacidad para disipar energía por comportamiento inelástico a través del desarrollo de deformaciones en los intervalos no lineales de las curvas carga-deformación. Esta forma de tener en cuenta los aspectos estructurales lleva por un lado a caracterizar las estructuras en función de su estructuración misma y por otro lado, de su ductilidad.

Por todo lo anterior se concluye que, para fines de clasificación de las construcciones dicha clasificación consiste en el empleo de dos parámetros:

- Seguridad estructural aconsejable para la estructura.
- Características estructurales que influyen en la respuesta sísmica de la estructura.

Atendiendo a la seguridad estructural aconsejable, una construcción se clasifica **según su destino**: en el caso de las chimeneas estas se clasifican como del "**GRUPO A**" por requerir un grado de seguridad alto, ya que si ésta llegara a fallar estructuralmente, causaría la pérdida de un número elevado de vidas o pérdidas económicas de magnitud excepcionalmente alta.

Atendiendo a las características **estructurales** de una chimenea, ésta se clasifica como del **TIPO 4**, por encontrarse su masa y rigidez distribuidas a lo largo de su altura y por ser una estructura donde las deformaciones que dominan son por flexión (ref. 4).

c) FACTOR DE COMPORTAMIENTO SÍSMICO.

En la actualidad, la forma más adecuada de caracterizar las estructuras en función de su ductilidad consiste en el empleo del factor de comportamiento sísmico (Q). Este factor no sólo está asociado a la ductilidad estructural, sino también a la estructuración misma, al deterioro o efecto que puede llegar a contrarrestar gran parte de la capacidad extra en resistencia que

proporciona la ductilidad; y a reservas de capacidad ante efecto sísmico que los métodos convencionales de diseño no consideran.

La ductilidad de una estructura depende en gran medida de los materiales empleados y de los cuidados que se tiene al diseñarlos. La ductilidad es una propiedad muy deseable en las estructuras situadas en zonas sísmicas, ya que no es aconsejable diseñar estructuras sometidas a estas acciones sobre la base de un comportamiento elástico lo cual sería antieconómico debido a la escasa probabilidad de que ocurra el sismo de diseño durante la vida útil de la estructura, además de que es difícil saber con precisión, cual será la mayor excitación sísmica que puede ocurrir debido a un temblor.

El Manual de Diseño de Obras Civiles de la CFE edición 1993 (ref. 4), establece valores del factor de comportamiento sísmico para diferentes estructuras, el cual depende del tipo de materiales y de la estructuración con la cual estén construidas.

Para el caso de chimeneas de acero dicho manual, asigna un factor de comportamiento sísmico ($Q = 3$).

d) FACTOR REDUCTIVO POR DUCTILIDAD.

Para el diseño sísmico de cualquier tipo de estructura, será necesario tomar en cuenta el comportamiento inelástico de dicha estructura. Para ello, las ordenadas espectrales se podrán reducir dividiéndolas entre el factor reductivo Q' , esto para obtener las fuerzas sísmicas reducidas por ductilidad. Para cualquier tipo de estructura, el factor reductivo se calculará con las siguientes expresiones.

$$Q' = 1 + (Q - 1) \frac{T}{T_a}; \quad \text{Si } T < T_a \quad (3-1)$$

$$Q' = Q; \quad \text{Si } T > T_a \quad (3-2)$$

Donde:

T = Período fundamental de vibración de la estructura.

T_a = Período característico.

Q = Factor de comportamiento sísmico.

e) FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO.

Otra característica importante que debe considerarse para el análisis de una estructura, es el "amortiguamiento".

El amortiguamiento, es una propiedad intrínseca de los materiales empleados, pero también depende de la forma en que se conecten los elementos estructurales y no estructurales. Para el caso de chimeneas de acero, el amortiguamiento se toma igual a 2% del crítico, como lo establece el manual de la CFE (ref. 4).

f) REGIONALIZACIÓN SÍSMICA DE LA REPÚBLICA MEXICANA Y ESPECTROS DE DISEÑO.

La República Mexicana se considera dividida en cuatro zonas como se indica en la figura 3.1. La zona "A" es la de menor intensidad sísmica, mientras que la zona "D" es la de mayor intensidad sísmica.

Referente a los espectros de diseño sísmico, las ordenadas "a" (de dichos espectros) expresadas como fracción de la aceleración de la gravedad, están definidas por las siguientes expresiones:

$$a = a_0 + [c - a_0] \frac{T}{T_a}; \quad \text{si } T < T_a \quad (3-3)$$

$$a = c; \quad \text{si } T_a \leq T \leq T_b \quad (3-4)$$

$$a = c \left[\frac{T_b}{T} \right]^r; \quad \text{si } T > T_b \quad (3-5)$$

Donde:

a_0 = Coeficiente de aceleración del terreno.

c = Coeficiente sísmico.

T = Período natural de vibración de la estructura de interés.

T_a y T_b = Períodos característicos que delimitan la meseta.

r = Exponente que define la curvatura del espectro de diseño.

En la tabla 3.1 se indican los valores de los parámetros anteriores para las diferentes zonas sísmicas y los distintos tipos de terreno de cimentación.

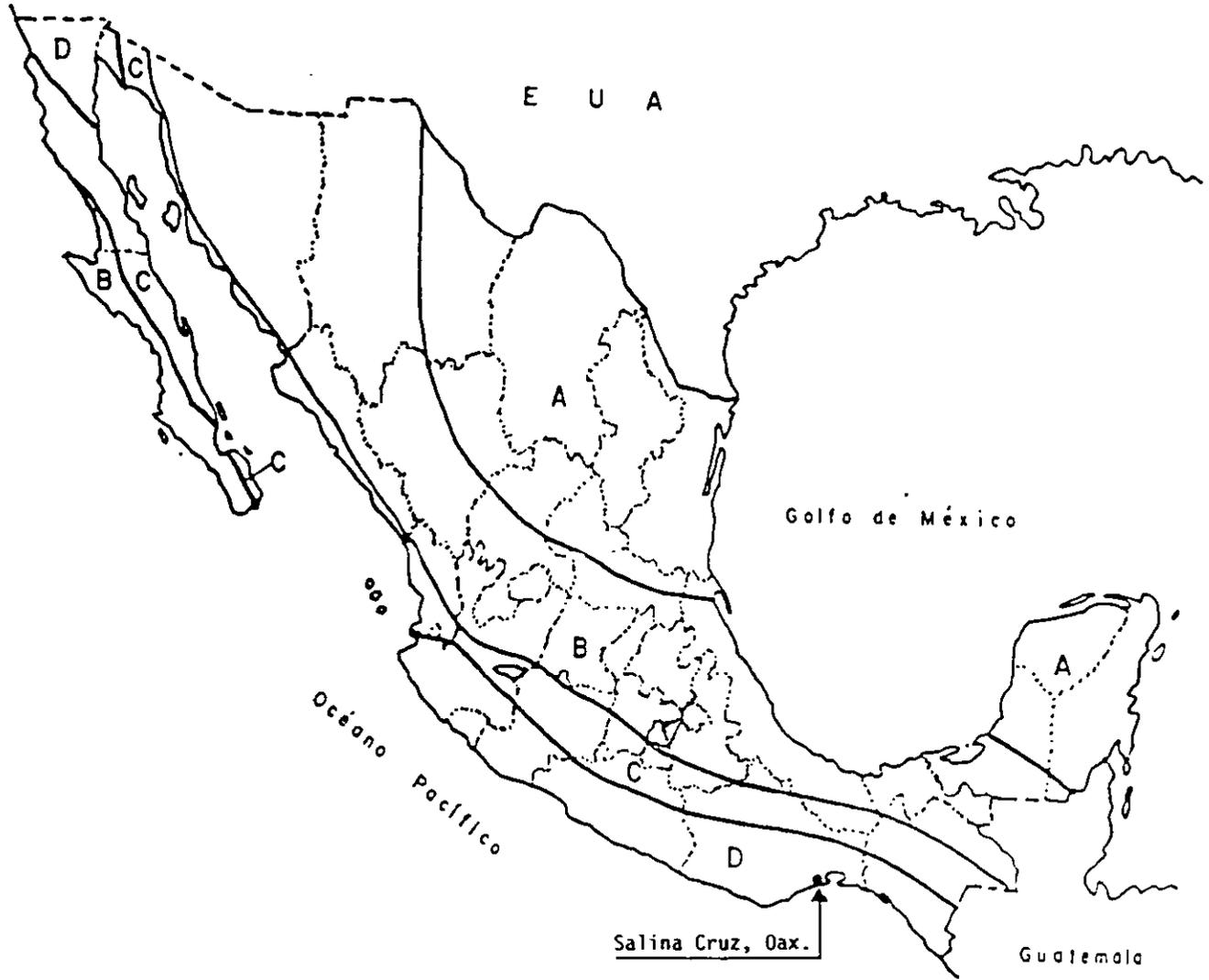


FIG. 3.1 REGIONALIZACION SISMICA DE MEXICO

Espectros de diseño para estructuras del grupo B.

ZONA SÍSMICA	TIPO DE SUELO	a_0	c	Ta (seg)	Tb (seg)	r
A	I	0.02	0.08	0.2	0.6	1/2
	II	0.04	0.16	0.3	1.5	2/3
	III	0.05	0.20	0.6	2.9	1
B	I	0.04	0.14	0.2	0.6	1/2
	II	0.08	0.30	0.3	1.5	2/3
	III	0.10	0.36	0.6	2.9	1
C	I	0.36	0.36	0	0.6	1/2
	II	0.64	0.64	0	1.4	2/3
	III	0.64	0.64	0	1.9	1
D	I	0.50	0.50	0	0.6	1/2
	II	0.86	0.86	0	1.2	2/3
	III	0.86	0.86	0	1.7	1

TABLA 3.1

Donde:

I REPRESENTA TERRENO FIRME.

II REPRESENTA TERRENO DE TRANSICIÓN.

III REPRESENTA TERRENO BLANDO.

Es importante señalar que los valores que se indican en la tabla anterior corresponden a espectros de diseño para estructuras del grupo "B" por lo que para las estructuras del grupo "A" las ordenadas espectrales deberán multiplicarse por 1.5 con el fin de considerar la importancia de la estructura.

Los espectros de diseño estipulados anteriormente son válidos para estructuras de edificios, por lo que las modificaciones pertinentes para otro tipo de estructuras (como es el caso de la chimenea en estudio), se indica en la sección correspondiente del Manual de Diseño de Obras Civiles de la CFE (ref. 4).

3.2.1 CONSIDERACIONES PARA EL ANÁLISIS SÍSMICO DE CHIMENEAS.

Con fines de diseño sísmico, parecería necesario establecer criterios de análisis para chimeneas, diferentes que los definidos para el análisis de edificios. Lo anterior debido a que el comportamiento de estructuras de edificios se parece al de vigas de cortante, puesto que predominan las deformaciones por cortante, lo cual no sucede en las chimeneas, cuyo comportamiento es similar al de vigas de "Euler-Bernoulli" ya que dominan las deformaciones por flexión.

Por lo anterior, y atendiendo al estado actual del conocimiento, para el análisis de chimeneas, se considera conveniente adoptar criterios de diseño sísmico que no difieran radicalmente de los que se toman en cuenta para estructuras de edificios. Esto quiere decir que gran parte de los comentarios que se aplican para estructuras de edificios son extensivas a las chimeneas (ref. 4).

Las chimeneas son estructuras vulnerables a los sismos, ya que sólo cuentan con una línea de defensa, lo que en consecuencia implica que la falla de una zona, provoque el colapso de la estructura. Considerando además, que son estructuras altas y esbeltas, la contribución de los modos superiores de vibración en la respuesta total puede ser determinante. Adicionalmente son estructuras cuya característica es que durante vibración disipan generalmente menos energía (debido a su bajo amortiguamiento).

Tomando en cuenta lo descrito anteriormente, en el diseño sísmico de chimeneas se debe tener presente que, aunque se trata de estructuras en cantiliver sencillas de analizar, dichas estructuras son más vulnerables que los edificios, por lo que para su diseño, es necesario considerar adecuadamente los efectos de los modos superiores de vibración y el bajo amortiguamiento.

Como se mencionó anteriormente, al tratarse de estructuras donde predominan las deformaciones por flexión, el fuste de las chimeneas se deberá modelar como una viga de flexión simple (ref. 4) es decir, puede despreciarse la influencia de la inercia rotacional así como las deformaciones por cortante.

Así, las fuerzas sísmicas que actúan sobre el cuerpo de la chimenea, se determinarán de acuerdo a los espectros de diseño establecidos para estructuras de edificios.

Las fuerzas actuantes dependen tanto de la masa de la estructura, de la aceleración espectral derivada del espectro de diseño de la zona sísmica y del tipo del terreno donde se ubicará la estructura.

Por otra parte es importante señalar que las recomendaciones establecidas para el diseño de edificios tienen en cuenta que en esas estructuras las deformaciones por cortante y flexión contribuyen en distintas proporciones a la respuesta total.

a) ELECCIÓN DEL TIPO DE ANÁLISIS.

De acuerdo a la reglamentación vigente MDOC de la CFE (ref. 4), para el análisis de chimeneas se pueden emplear dos métodos:

- El método estático.
- El método dinámico.

El método estático es aplicable a estructuras cuya altura no exceda los 60 m. Éste método también es aplicable a estructuras de mayor altura siempre y cuando se trate sólo de cálculos preliminares. El método dinámico se puede aplicar sin restricción, cualquiera que sea la altura de la estructura.

Como se estableció en el alcance de este trabajo de tesis, para el análisis y diseño de la chimenea metálica a piso autosoportada en estudio se empleará el método estático ya que dicha estructura tiene una altura de 48.34 m, la cual es menor a los 60 m, que marca como altura máxima la reglamentación vigente para poder aplicar el método estático.

En este método de análisis, los efectos dinámicos provocados sobre el cuerpo de la chimenea por el sismo se simularán por medio de unas fuerzas laterales equivalentes, distribuidas a lo largo de la altura de la chimenea y actuando en la dirección del movimiento del terreno.

b) VALUACIÓN DE FUERZAS SÍSMICAS.

La magnitud de la fuerza lateral distribuida verticalmente sobre la chimenea será igual a la fuerza cortante basal, determinada de acuerdo con lo que se establece para estructuras de edificios, y adicionalmente deberá considerarse un factor de incremento con lo cual se aumentan las ordenadas espectrales con la finalidad de tomar en cuenta que el amortiguamiento en chimeneas generalmente es menor que en estructuras de edificios.

La distribución de la fuerza cortante basal amplificada sobre la chimenea, se efectuará dividiendo la estructura en cuando menos 10 segmentos, como lo establece el Manual de Diseño de Obras Civiles de la CFE. En nuestro caso la chimenea se divide en 21 segmentos ó dovelas como se muestra en la fig.3.2.

NORMATIVIDAD PARA EL ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO Y DISEÑO DE CHIMENEAS.

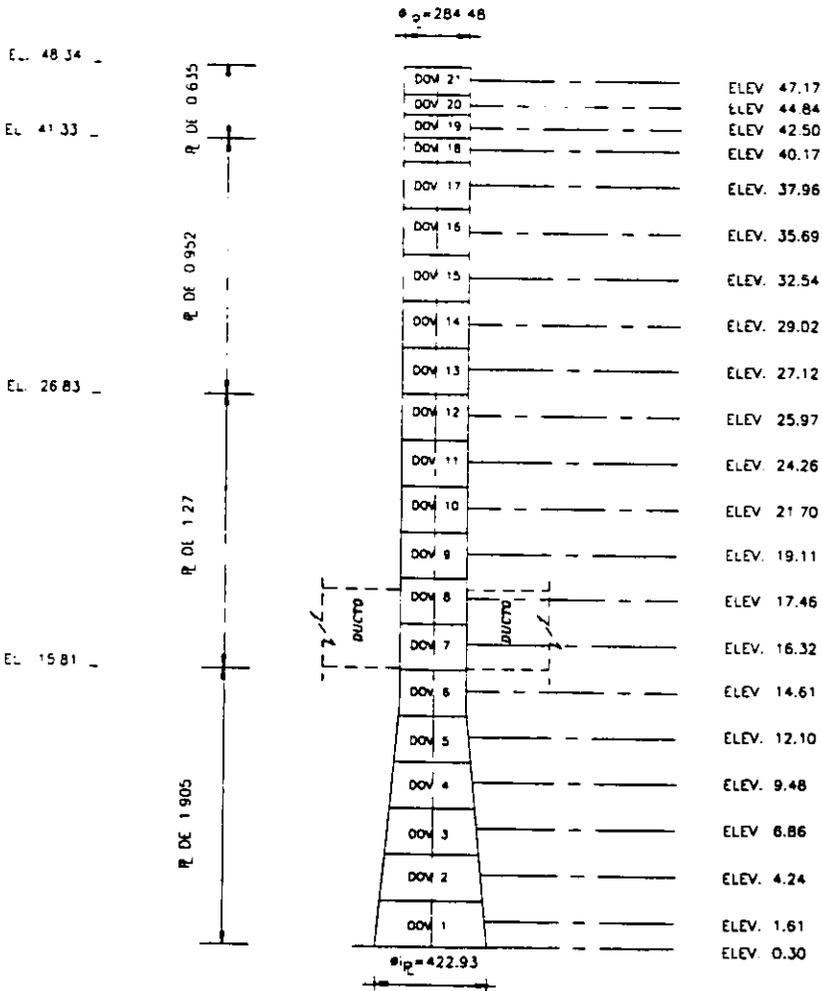


Fig. 3.2 CHIMENEA COMUN A PISO.

NOTAS.-

- 1.- ACOTACIONES EN CENTIMETROS
- 2.- ELEVACIONES EN MTS.
- 3.- DOV (DOVELA)



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGÓN

ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO Y DISEÑO ESTRUCTURAL
DE UNA CHIMENEA METÁLICA A PISO AUTOSOPORTADA

TESIS PROFESIONAL QUE PRESENTA.

HABOR MORALES GRANADOS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

En el centro de masas de cada uno de los segmentos se aplicará una fuerza horizontal provocada por el sismo la cual se define dependiendo del periodo característico T_b con las siguientes fórmulas:

$$P_n = 0.85 W_n h_n \frac{\sum_{n=1}^N W_n}{\sum_{n=1}^N W_n h_n} \frac{a}{Q'} \varepsilon \quad \text{Si } T_e < T_b \quad (3-6)$$

$$P_n = 0.85 W_n [\alpha_1 h_n + \alpha_2 h_n^2] \frac{a}{Q} \varepsilon \quad \text{Si } T_e > T_b \quad (3-7)$$

$$\alpha_1 = [1 - r(1 - q)] \frac{\sum_{n=1}^N W_n}{\sum_{n=1}^N W_n h_n} \quad (3-8)$$

$$\alpha_2 = 1.5r(1 - q) \frac{\sum_{n=1}^N W_n}{\sum_{n=1}^N W_n h_n^2} \quad (3-9)$$

$$q = \left(\frac{T_b}{T_c} \right)^r \quad (3-10)$$

donde: W_n = Peso de cada uno de los segmentos.

h_n = Altura al centro de masas de cada uno de los segmentos.

Q' = Factor reductivo por ductilidad.

a = Ordenada espectral.

T_e = Periodo fundamental de la estructura.

Q = Factor de comportamiento sísmico.

α_1 y α_2 = Coeficientes de proporcionalidad.

r = exponente de la parte curva del espectro de diseño.

ε = Factor de incremento que se calcula como se indica en (ref. 4).

P_n = Fuerza horizontal en el centro de cada dovela.

Para considerar los efectos de los modos superiores de vibración, en la última dovela superior de la chimenea se aplicará adicionalmente una fuerza horizontal que se define tal como se indica a continuación:

$$P_s = 0.15W \frac{a}{Q} \varepsilon; \quad \text{Si } T_e < T_b \quad (3-11)$$

$$P_s = 0.15W(1 + 0.5r - 0.5rq) \frac{a}{Q} \varepsilon; \quad \text{Si } T_e > T_b \quad (3-12)$$

Donde:

W = Peso total de la chimenea.

$$q = \left(\frac{T_b}{T_e} \right)^r$$

r = Exponente de la parte curva del espectro de diseño.

Ps = Fuerza adicional.

El criterio que se especifica para distribuir la fuerza cortante basal a lo largo de la altura de la chimenea en este método esta basado en las normas del ACI 307-88 (ref. 5), las cuales recomiendan que el 15 por ciento del cortante basal se aplique en el extremo superior de la estructura, a fin de tener en cuenta la contribución de los modos superiores de vibración en la respuesta total como se describió anteriormente.

Para el empleo del método estático, el periodo fundamental aproximado de la chimenea puede estimarse mediante fórmulas empíricas ó expresiones analíticas dependiendo del tipo de estructura en análisis.

Por ejemplo, para el caso de chimeneas de concreto con base rígida, el periodo fundamental se puede determinar con la siguiente fórmula (ref. 5).

$$T_e = \frac{1.57H^2}{[3D_o - D_H] \sqrt{E_c}} \left[\frac{M}{M} \right]^{1/2} \quad (3-13)$$

Donde:

H = Altura de la chimenea.

D_o y D_H = Diámetros exteriores en la base y en la punta de la chimenea.

E_c = Módulo de elasticidad del concreto.

M' = Masa de la estructura con revestimiento.

M = Masa de la estructura sin revestimiento.

T_c = Periodo fundamental.

En chimeneas de acero con base rígida el periodo fundamental se puede determinar considerando la masa y rigidez de la estructura, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$T_c = 2\pi \left[\frac{M}{K} \right]^{1/2} \quad (3-14)$$

Donde:

K = rigidez de la estructura la cual se puede calcular con la siguiente ecuación.

$$K = 1.25 \frac{Mg}{\delta} \quad (3-15)$$

Sustituyendo la ecuación 3-15 en la 3-14 se tiene que el periodo fundamental es igual a:

$$T_e = 2\pi \sqrt{\frac{0.8\delta}{g}} \quad (3-16)$$

Donde:

δ = Desplazamiento lateral en la punta de la chimenea producido por una carga distribuida lateralmente; esta última igual al peso de la estructura por unidad de longitud.

g = Aceleración de la gravedad.

M = Masa de la estructura sin revestimiento.

Es importante señalar que si una chimenea de acero tiene recubrimiento interior de concreto refractario (como es el caso de la chimenea que se presenta en este trabajo de tesis) deberá tomarse en cuenta la masa y rigidez adicionales suministradas por el revestimiento.

Para ello, la masa de dicho revestimiento se debe incluir en la masa de la estructura y su espesor debe considerarse como un espesor equivalente de acero. Para la determinación del espesor equivalente de acero, únicamente deberá considerarse el 75 % del espesor de concreto refractario

De manera general, para cualquier chimenea de sección constante, empotrada en la base y libre en el extremo, el periodo fundamental se puede calcular (ref.6) con la siguiente expresión:

$$T_r = \frac{2\pi}{3.515} \left[\frac{MH^4}{EI} \right]^{1/2} \quad (3-17)$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad del material de la chimenea.

I = Momento de inercia de la sección transversal.

M = Masa de la estructura.

H = Altura de la chimenea.

Cabe mencionar que para la determinación de el periodo fundamental de una estructura como la analizada en esta tesis (EI variable), es necesario calcular un desplazamiento provocado por las fuerzas que actuan sobre la estructura. Este desplazamiento puede obtenerse por medios manuales como son el método del trabajo virtual o los teoremas del área de momentos aplicados a vigas. Sin embargo en este trabajo de tesis se utilizó el desplazamiento obtenido con el programa de cómputo aplicado a la chimenea.

A continuación se muestran los resultados obtenidos de el periodo fundamental con el software ROBOT V6 y aplicando la fórmula empírica (3-14).

Modo	ROBOT V6	EMPÍRICO
	T = 0.59 seg.	T = 0.6 seg.

c) MOMENTOS DE VOLTEO.

El momento de volteo al centro de gravedad de cada una de las dovelas podrá reducirse de acuerdo con la siguiente expresión:

$$M_n = \left[0.75 + 0.25 \frac{h_n}{H} \right] \sum_{m=n+1}^N V_m [h_m - h_{m-1}] \quad (3-18)$$

Donde:

H = Altura de la chimenea.

h_n = Altura al centro de masas de cada uno de los segmentos.

V_m = Fuerza cortante entre las secciones correspondientes a los centros de gravedad de m y m-1.

En virtud de que en chimeneas la contribución de los modos superiores a la respuesta total es mayor que en estructuras de edificios, se establece que la reducción de volteo basal fuera del 25 % y no del 20 % como se especifica para dichas estructuras de edificios, con objeto de tener en cuenta el defasamiento en la respuesta que se presenta en dichos modos.

d) EFECTOS COMBINADOS DEL MOVIMIENTO DEL TERRENO.

Las chimeneas se analizarán ante la acción de dos componentes horizontales ortogonales del movimiento del terreno. Las fuerzas internas se combinarán sumando vectorialmente, el 100 % las del componente del movimiento del terreno paralelo a la dirección de análisis y el 50 % en sentido perpendicular a dicha dirección de análisis la elección de las direcciones ortogonales para las cuales se efectuará el análisis se hará atendiendo a la ubicación de los orificios o aberturas que tenga el fuste de la chimenea con el signo que para cada concepto resulte más desfavorable.

Las direcciones más desfavorables estarán definidas por la menor resistencia de la chimenea tanto a flexocompresión como a fuerza cortante.

3.2.2 CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE LA CHIMENEA.

El propósito del diseño estructural de la chimenea es determinar y definir las características geométricas, materiales de los elementos que la componen para que dicha estructura cumpla en forma segura y adecuada la función específica para la que fue diseñada.

Para cumplir con el objetivo anterior, el diseño estructural de la chimenea implica la realización de una serie de actividades las cuales se describen a continuación:

3.2.1 Establecer requisitos de seguridad y servicio.

Lo anterior quiere decir que será conveniente definir las condiciones necesarias para un funcionamiento seguro y adecuado de la estructura.

3.2.2 Evaluar y definir acciones.

Con esto se pretende identificar los agentes externos ó inherentes a la chimenea, cuyos efectos puedan hacer que se violen los requisitos establecidos en el inciso 3.2.1.

3.2.3 Evaluar y definir resistencias.

Consiste en estimar la capacidad que pueden tener los elementos estructurales que componen a la chimenea; para soportar efectos de las acciones, en función de sus características geométricas y materiales.

3.2.4 Efectuar un análisis estructural.

Con el análisis estructural de la chimenea se pretende evaluar los efectos de las acciones actuantes sobre los elementos que forman la chimenea.

3.2.5 Dimensionamiento de la chimenea.

El dimensionamiento de la chimenea (como su nombre lo indica) se refiere a la definición de las características geométricas y materiales de los elementos estructurales que

la forman de tal manera que la resistencia de cada uno de dichos elementos, 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 que converge cuando las características de los elementos estructurales satisfacen los requisitos de seguridad y servicio establecidos para la estructura.

La resistencia nominal de una sección o elemento estructural de la chimenea queda definida por medio de un esfuerzo último, que es el esfuerzo con el cual se alcanza un estado límite de seguridad.

En resumen, se puede decir que el diseño de la chimenea, deberá consistir en la aplicación de criterios y procedimientos para establecer requisitos de seguridad y servicio, definir valores de acciones y resistencias, evaluar los efectos de las acciones y proponer las características de los elementos estructurales que componen dicha chimenea.

El esfuerzo admisible se obtiene multiplicando el esfuerzo último por un factor de seguridad menor que la unidad de acuerdo a como se especifica en el manual AISC (American Institute of Steel Construction) o bien; como se indica en el Manual de Construcciones en Acero (IMCA).

La determinación definitiva de las características geométricas y materiales de los elementos estructurales que forman la chimenea debe realizarse bajo las siguientes consideraciones:

• **Seguridad estructural de la chimenea.**

El esfuerzo de trabajo de cualquier sección o elemento estructural ante la combinación de acciones más desfavorables debe ser menor a cuando mucho igual que el esfuerzo admisible; es decir.

$$f_t \leq F_p$$

Donde:

f_t = Esfuerzo de trabajo.

F_p = Esfuerzo permisible.

• **Funcionalidad.**

Referente a este aspecto el efecto de las acciones no deberá rebasar ningún estado límite de servicio como son: desplazamientos, agrietamientos, etc.

Para el diseño estructural de la chimenea se considera el método de "ESFUERZOS ADMISIBLES".

3.3 LOCALIZACIÓN DE PLATAFORMAS PARA PUERTOS DE MUESTREO EN CHIMENEAS.

La chimenea, como componente de un equipo de combustión, es una estructura auxiliar para descargar directamente a la atmósfera los gases que se queman en un calentador a fuego directo (CAFD). Estas emisiones contaminantes, para su control, antes de ser desalojados deben analizarse y cumplir con los límites establecidos por la SEMARNAP (Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca) en la norma CCAT-FF-001 NMX-AA-09.1993.SCFI (Instructivo de localización de plataformas y puertos de muestreo).

Aspectos de la norma antes referida que aplican para la instalación de plataformas y puertos de muestreo en chimeneas de calentadores a fuego directo (CAFD) son los siguientes.

En los ductos o chimeneas de operaciones y procesos industriales con diámetros internos, iguales o mayores a 30 cm; deberán instalarse plataformas y puertos para el muestreo de emisiones contaminantes.

La instalación de plataformas y puertos de muestreo se realiza en el fuste de la chimenea de acuerdo a los criterios que a continuación se describen:

El centro del ducto se toma como punto de referencia para establecer la última perturbación del flujo.

A partir de esta altura procedemos a multiplicar el diámetro interior a refractario ocho veces, la cual se suma al punto de partida para conocer la localización de los puertos de muestreo, a esta nueva altura por especificaciones se le resta 1.65 mts. para conocer la altura de localización de la plataforma circunferencial y la cual es de gran importancia para realizar el tipo de muestreo que la norma referida indica.

Una vez establecido lo anterior se realizará la distribución de plataformas para este objetivo partiendo de lo siguiente.

Se colocará una plataforma del tipo media luna a una altura igual a los 16.32 mts. de altura, la cual es propicia tanto para la inspección del ducto en caso de algún tipo de falla, como un medio de comunicación entre los calentadores de combustión y la chimenea.

Conociendo las alturas de estas plataformas, la circunferencial y la de tipo media luna se realiza la distribución de las plataformas de descanso o intermedias quedando de la siguiente manera.

Entre la plataforma de tipo media luna y la primer plataforma de descanso una altura igual a los 5.4 mts.

Entre la primer plataforma de descanso y la segunda plataforma de descanso una altura igual a los 5.41 mts.

Entre la segunda plataforma de descanso y la tercera plataforma de descanso una altura igual a los 5.41 mts.

Entre la tercer plataforma de descanso y la plataforma circunferencial una altura igual a los 5.42 mts.

La comunicación entre una plataforma y otra lo es a base de escaleras de tipo marino las cuales son fijas para que los trabajadores puedan pasar de un nivel a otro con seguridad las cuales son diseñadas de tal manera que soportan una carga de 5 veces la carga viva normal calculada.

Durante su recorrido a este tipo de estructura en su parte descubierta deberán colocársele barandales en ambos lados y una protección adecuada para su escalamiento como lo es el tipo de jaula.

3.3.1 Plataformas.

a) Las plataformas deberán ser circulares (fig. 3.3a) o de media luna (fig. 3.3b) con escalerilla de ascenso de alta seguridad preferentemente la de tipo marino (fig. 3.3f) y ser capaces de soportar como mínimo una carga de 400 Kg.

b) Las dimensiones y espacios de la plataforma y equipo semiautomático para maniobrar adecuadamente en los muestreos, están especificados en la figura 3.3e.

c) Cuando la suma del diámetro interno de la chimenea, más el espesor de la pared, más la longitud del puerto sea mayor a 2.50 m., será necesario instalar una plataforma alrededor de la chimenea y cuatro puertos (fig. 3.3a).

d) Se deberá contar con un contacto para el suministro de corriente eléctrica monofásica (60 hz. C.A., 115 Volts y 15 Amperes).

e) Se deberá colocar una argolla a la altura de aproximadamente dos metros desde el puerto de muestreo y en línea vertical con respecto al mismo (fig. 3.3f).

3.3.2 Puertos.

a) Para ductos o chimeneas de sección circular deben colocarse dos o cuatro puertos en forma perpendicular (Figs. 3.3a y 3.3b).

b) Para el caso de ductos o chimeneas de sección transversal diferente a la circular, cuadrada o rectangulares, el diámetro equivalente se deberá calcular con cualquiera de las siguientes expresiones:

$$D = \frac{4A}{P} \quad (3-19)$$

$$D = \frac{2LB}{(L + B)} \quad (3-20)$$

Donde:

D = Diámetro equivalente de la sección interna.

A = Área interna de la sección transversal.

P = Perímetro interno de la sección transversal.

L = Largo de la sección interna del ducto.

B = Ancho de la sección interna del ducto.

c) Los puertos deben ser lo suficientemente resistentes para soportar una fuerza cortante de 100 Kg., una fuerza radial de 25 Kg. y una fuerza lateral de 25 Kg., con un diámetro interno de 10.1 cm. y 8.0 cm. de extensión, con brida ciega (fig. 3.3c).

d) Los puertos deberán colocarse a una altura tal que conserve la relación de 8 diámetros corriente arriba de la última perturbación del flujo, ocasionado por expansión, contracción, codo, ventilador, etc. y 2 diámetros de la salida (fig. 3.3e).

Cuando una chimenea tenga una altura menor a los 4 diámetros, después de la última perturbación del flujo, ésta deberá ser prolongada para que pueda ser muestreada.

e) Cuando no se tenga flujo vertical a la altura de los puertos, para poder muestrear gases y partículas, se deberá normalizar éste, con la instalación de mamparas, rejillas u otros mecanismos.

En el dibujo No. 4 (Arreglo general de plataformas para puertos de muestreo sobre la chimenea) del anexo "A", se muestra con detalle la localización, orientación y dimensionamiento de las plataformas así como las escaleras sobre la chimenea para operar

los puertos de muestreo en la medición de emisiones contaminantes que desaloja la chimenea, motivo de este trabajo de tesis.

Con la finalidad de mostrar el criterio establecido en el instructivo para fijar la localización de los puertos de muestreo, a continuación se indica con detalle el procedimiento de cálculo para tal propósito.

Datos:

Diam. int. refrac. = 2.77 mts.

EL. Última perturbación = 17.46 mts.

La norma establece que a partir de la última turbulencia los puertos de muestreo se localicen como mínimo a 8 diámetros.

$$\therefore 8\varnothing = 8 \times 2.77 \text{ mts.} = 22.15 \text{ mts.}$$

\therefore Los puertos de muestreo se deben de localizar a una elevación de $17.46 + 22.15 = 39.61$ mts

Los puertos de muestreo se localizan a EL. = 39.612 mts.

Por otra parte debe garantizarse que arriba de la localización de los puertos de muestreo estén como mínimo $2\varnothing$ interiores a refractario.

$$\therefore 2\varnothing = 2 \times 2.77 \text{ mts.} = 5.54 \text{ mts.}$$

$$\therefore 39.612 + 5.54 = 45.15 \text{ mts.} < 48.34 \text{ mts.}$$

Por lo que de acuerdo a la norma la localización de los puertos de muestreo es correcta.

NORMATIVIDAD PARA EL ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO Y DISEÑO DE CHIMENEAS.

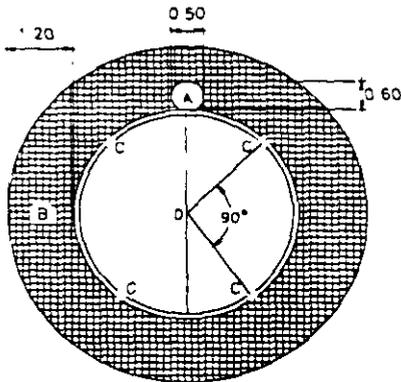


Fig. 3.3a.

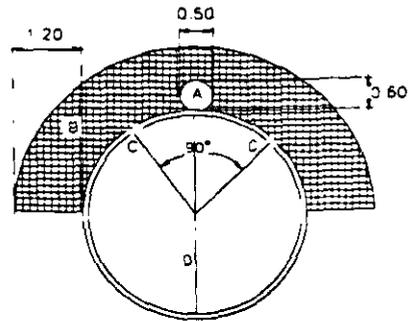


Fig. 3.3b.

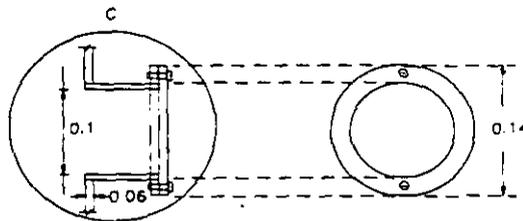


Fig. 3.3c.

FIG. 3.3a. Vista en planta de una plataforma completa y puertos para muestreo.

FIG. 3.3b Vista en planta de una plataforma media luna y puertos para muestreo.

FIG. 3.3c Vista lateral y frontal de un puerto de muestreo (con bridas) y sus dimensiones.

- A. Escalerilla tipo marina.
- B. Plataforma.
- C. Puertos de muestreo.
- D. Diámetro de la chimenea.
- E. Longitud del riel.
- F. Longitud del cable de acero como tensor.
- G. Altura del barandal.
- H. Caja de impactores.
- I. Sonda de muestreo.
- J. Fuente eléctrica 115V, 15A, 60HZ CA.
- K: Refuerzos.
- 2D: Distancia del puerto de muestreo a la salida de la chimenea.
- 8D: Distancia del puerto de muestreo después de cualquier perturbación del flujo.
- Acat= mts.

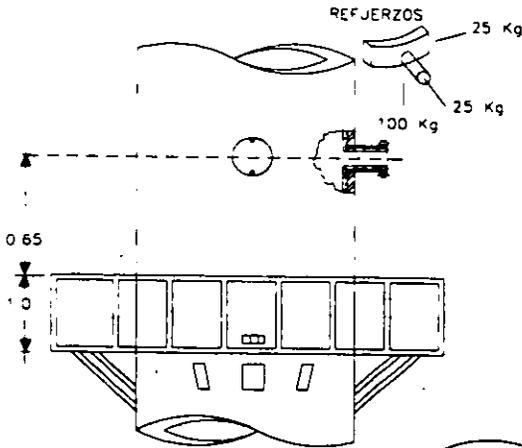


Fig. 3.3d.

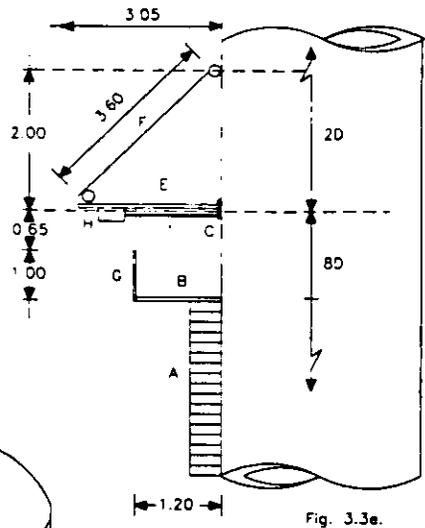


Fig. 3.3e.

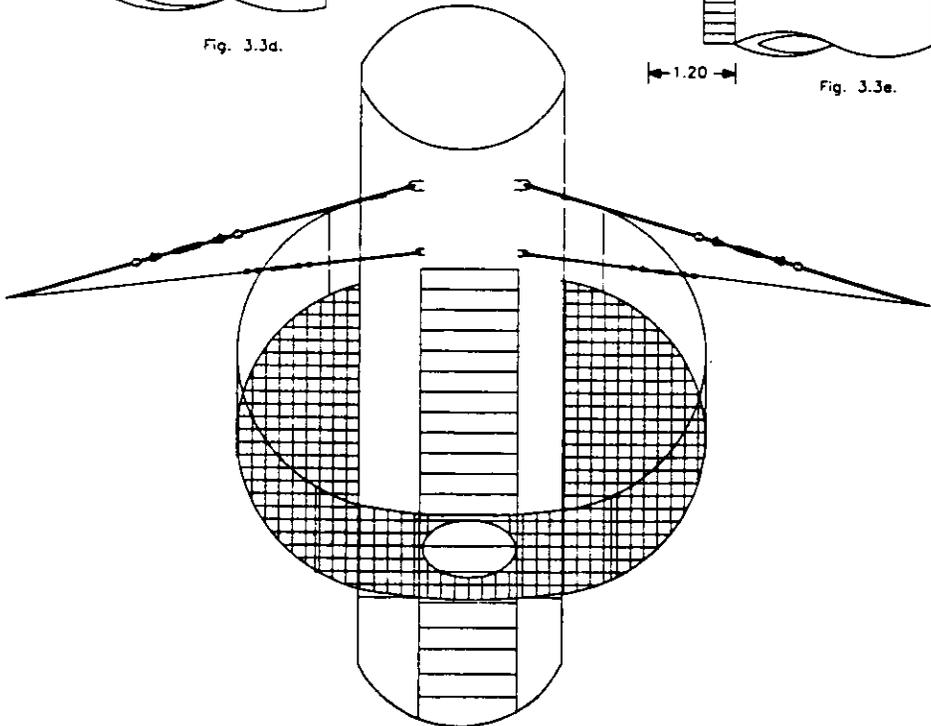


Fig. 3.3f.

FIG.3.3d. Visto lateral de los puertos y plataforma para muestreo.

FIG.3.3e. Perfil de los puertos y plataforma para muestreo.

FIG.3.3f. Instalación completo de los puertos y plataforma de muestreo.

Acot= mts.

CAPITULO 4

DESCRIPCIÓN DE LA CHIMENEA.

La construcción de chimeneas en acero presenta grandes ventajas debido a la resistencia y ductilidad de los materiales ante los efectos de un sismo.

Las chimeneas a piso autoportadas de acuerdo a su geometría pueden construirse en diferentes arreglos como se indica a continuación:

1.- Chimeneas cilíndricas en toda su longitud.

2.- Chimeneas cónicas desde la base hasta la parte superior.

3.- Chimeneas con una sección cónica y otra cilíndrica en la parte superior. La chimenea en análisis para este trabajo de tesis, corresponde al caso antes señalado.

Los casos antes mencionados se muestran en las figuras 4.1a, b y c.

Cabe mencionar que para el caso de las chimeneas a piso autoportadas, conviene instalar el tipo del caso tres que se mencionó anteriormente ya que la parte cónica en la base de dichos equipos permite reducir los esfuerzos en los pernos de anclaje y aliviar los problemas de reforzar la zona de los ductos proporcionando una mayor estabilidad estructural ante las solicitaciones sísmicas.

La altura y el diámetro de la chimenea fueron determinadas con base a consideraciones termodinámicas, normas ambientales y requerimientos específicos de operación es por lo anterior que la selección del tipo y las características geométricas de una chimenea depende principalmente de valuaciones económicas, límites de contaminación y condiciones de operación, los cuales tienen gran relación con los aspectos básicos de operación de una planta industrial.

DESCRIPCIÓN DE LA CHIMENEA.



Fig. 4 1a.
CHIMENEA CILINDRICA.



Fig. 4 1b
CHIMENEA CONICA

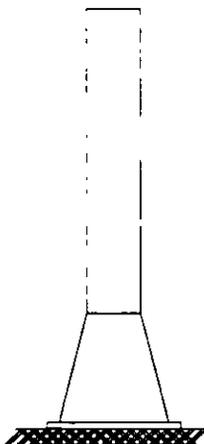


Fig. 4 1c.
CHIMENEA CONICA-CILINDRICA.

	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
	ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGÓN
	ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA CHIMENEA METÁLICA A PISO AUTOSOPORTADA
	TESIS PROFESIONAL QUE PRESENTA: NABOR MORALES GRANADOS PARA OBTENER EL TÍTULO DE: INGENIERO CIVIL

4.1 CARACTERÍSTICAS Y DIMENSIONAMIENTO.

A continuación se describen las características y dimensionamiento de la chimenea en análisis y cuyos detalles se muestran en los dibujos 3 y 4 del anexo "A".

1.- La chimenea esta construida con placa de acero A-36 de espesores como se indica a continuación.

De la EL. 0.3048 mts a la EL. 15.81 mts por placa de $\frac{1}{4}$ " (1.905 cms).

De la EL. 15.81 mts a la EL. 26.83 mts por placa de $\frac{1}{2}$ " (1.27 cms).

De la EL. 26.83 mts a la EL. 41.33 mts por placa de $\frac{3}{8}$ " (0.952 cms).

De la EL. 41.33 mts a la EL. 48.34 mts por placa de $\frac{1}{4}$ " (0.635 cms).

2.- La placa metálica se encuentra protegida contra el efecto de temperatura y corrosión de los gases por un concreto refractario con un espesor de 0.0381 mts., desde la EL. 15.0 mts hasta la punta de la chimenea. Dicho refractario se encuentra adherido a la placa de la chimenea con un sistema de anclaje como se muestra en el dibujo 4.1.1a.

3.- Como se mencionó anteriormente la chimenea esta constituida por una parte cónica que va desde la base hasta la EL. de 13.41 mts., y a partir de este punto y hasta la punta esta formada por una sección cilíndrica.

La chimenea tiene un diámetro interior a placa en la parte superior igual a 2.85 mts., y de 4.23 mts., en la base. Referente a la longitud del equipo este se desplanta a la EL. de 0.3048 mts., para concluir en los 48.34 mts.

4.- Se encuentra rigidizada con perfiles longitudinales y circunferenciales.

5.- A la EL. 17.46 mts., se localizan los ductos que desalojan los gases producto de la combustión que se lleva a cabo en los calentadores BA-201 $\frac{1}{8}$ ". La unión de estos ductos con la chimenea es de tal forma que se permiten los movimientos de manera independiente de ambas partes ante movimientos sísmicos, térmicos, etc.

6.- A partir de la EL. 16.32 mts., correspondiente a la primera de las plataformas la cual se encuentra a un lado de los ductos y hacia arriba, se distribuyen 4 plataformas para los puertos de muestreo.

DESCRIPCIÓN DE LA CHIMENEA.

7.- A la EL. 39.61 mts., se localizan 4 puertos de muestreo para la medición de emisiones contaminantes de los gases.

8.- A la EL. 15.00 mts., se encuentra localizado un dispositivo denominado "cenicero" con el propósito de retener las cenizas, material refractario por desprendimiento, etc.

9.- En la parte superior del fuste de la chimenea se encuentra instalado un elemento denominado "trolley" (carretilla para el pintor) instrumento auxiliar para dar mantenimiento de pintura a la chimenea.

10.- A la EL. 1.52 mts., se localiza una compuerta para la entrada de personal con el fin de observar el interior de la chimenea y en caso necesario dar mantenimiento.

11.- En la base de la chimenea se localizan las placas base, anclas y atiesadores para el refuerzo adecuado de la chimenea ante los efectos por sismo.

12.- En la parte superior de la chimenea se instala un carrete de aproximadamente 1.50 mts., de acero inoxidable. Con el propósito de incrementar la vida útil de este tramo de la chimenea ya que en este punto se presentan ambientes altamente corrosivos al ponerse en contacto los gases de combustión con el ambiente atmosférico.

4.2 EVALUACIÓN DE CARGAS GRAVITACIONALES.

Las descripciones más importantes que se aplican al respecto para la estructura en estudio son:

Cargas gravitacionales son las cargas muertas que obran sobre el cuerpo de la chimenea las cuales tienen un carácter permanente y un peso el cual no cambia substancialmente con el tiempo.

En la evaluación de estas cargas se considera el peso propio de la chimenea; el cual incluye el peso de los ductos escaleras y plataformas por tener una ubicación fija en el cuerpo de la misma, siendo en este último tipo de estructuras sobre las cuales se considerará que obran las siguientes especificaciones del Reglamento del Distrito Federal.

Para las plataformas de descanso y para la instalada cerca de los puertos de muestreo.

Peso propio (carga muerta) en plataforma = 120 Kg/m^2 .

Carga viva en plataforma gravitacional = 100 Kg/m^2 .

Para la plataforma que sirve de comunicación de los calentadores con la chimenea.

Peso propio (carga muerta) en plataforma = 120 Kg/m^2 .

Carga viva en plataforma gravitacional = 300 Kg/m^2 .

La evaluación de estas cargas es generalmente sencillo, ya que el área sobre la cual actúa la siguiente combinación de cargas puede ser conocida fácilmente al aplicar las fórmulas correspondientes para ello.

Para las plataformas de descanso y para la instalada cerca de los puertos de muestreo.

$$120 \text{ Kg/m}^2 + 100 \text{ Kg/m}^2 = 220 \text{ Kg/m}^2.$$

Para la plataforma que sirve de comunicación de los calentadores con la chimenea.

$$120 \text{ Kg/m}^2 + 300 \text{ Kg/m}^2 = 420 \text{ Kg/m}^2.$$

Estas cargas no incluyen el peso de otros materiales, equipos u objetos fuera de lo previamente especificado.

DESCRIPCIÓN DE LA CHIMENEA.

Las cargas obtenidas anteriormente se considerarán distribuidas sobre el área de cada una de las plataformas para obtener la carga gravitacional de la chimenea.

Síntesis del procedimiento realizado para el cálculo de la carga gravitacional en la chimenea.

1º Cálculo del volumen de cada una de las placa base y los atiesadores aplicando respectivamente cada una de las siguientes fórmulas.

$A = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}$ <p>Donde: D = Diámetro mayor. d = Diámetro menor.</p>	$A = a * b$ <p>Donde: a = Base. b = Altura.</p>
--	---

áreas que posteriormente se multiplicaran por el espesor de cada una de las placas en cuestión y por el peso volumétrico del acero.

2º Cálculo del área en cada una de las dovelas de acero en la parte cónica utilizando la fórmula.

$$A = \frac{a(B + b)}{2}$$

Donde:

a = altura de la dovela.

B = π * diámetro mayor considerado al centro de placa.

b = π * diámetro menor considerado al centro de placa.

área multiplicada por la carga unitaria de la placa.

3º Cálculo del área en cada una de las dovelas de acero en la parte cilíndrica utilizando la fórmula.

$$A = a * b$$

Donde:

a = π * diámetro considerado al centro de placa.

b = altura de la dovela.

4º Cálculo del área en cada una de las dovelas de concreto refractario en la parte cilíndrica utilizando la fórmula.

$$A = a * b$$

Donde:

$a = \pi * \text{diámetro considerado al centro del concreto refractario.}$

$b = \text{altura de la dovela.}$

area multiplicada por la carga unitaria del concreto refractario.

5º Cálculo del peso de cada uno de los perfiles para lo cual se utilizaran los datos descriptivos en los planos de detalles de la chimenea ó en su caso utilizando sus características geométricas multiplicadas por el peso volumétrico del acero.

6º Cálculo del peso de cada uno de los ductos utilizando para ello sus características geométricas y su longitud tributaria a los calentadores multiplicadas por el peso volumétrico del acero.

7º Pesos (carga unitaria) utilizados para placas de

$$1/4 (0.019) = 149.54 \text{ Kg.} \qquad 1/8 (0.0095) = 74.77 \text{ Kg.}$$

$$1/2 (0.012) = 99.69 \text{ Kg.} \qquad 1/4 (0.0063) = 49.85 \text{ Kg.}$$

8º Para el cálculo de el área de cada una de las plataformas donde se considerarán distribuidas las cargas obtenidas aplicarán las siguientes fórmulas.

Para la plataforma de descanso y para la plataforma que sirve de comunicación de los calentadores con la chimenea.

$$A = \frac{\alpha \pi}{4 * 360} (D^2 - d^2)$$

Donde:

$\alpha = \text{ángulo de abertura en grados.}$

$D = \text{Diámetro mayor.}$

$d = \text{Diámetro menor.}$

DESCRIPCIÓN DE LA CHIMENEA.

Para los pasillos de comunicación aplicará

$$A = a \cdot b$$

Donde:

a = Longitud de cada uno de los pasillos.

b = Ancho de cada uno de los pasillos.

Para la plataforma instalada cerca de los puertos de muestreo.

$$A = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}$$

Donde:

D = Diámetro mayor.

d = Diámetro menor.

Para cada uno de los pasillos aplicará

$$A = a \cdot b$$

Donde:

a = Longitud de cada uno de los pasillos.

b = Ancho de cada uno de los pasillos.

En la tabla 4.2a se muestran los resultados calculados por dicho efecto.

Carga gravitacional de la chimenea.

Dovela	Sección	Apero Kg	Concreto Kg	Ducto Kg	Plataforma Kg	Escalera Kg	Atiesadores longitudinales	Atiesadores circunferenciales	Placa base	Cenicero	Carga total
1	Cónica	5050					0	0	1295		6345
2	Cónica	4721					0	0			4721
3	Cónica	4380					0	139			4519
4	Cónica	4039					0	103			4142
5	Cónica	3697					0	140			3837
6	Cilíndrica	3225					0	129		493	3847
7	Cilíndrica	917	46		2692	108	697	1694			6154
8	Cilíndrica	1123	169	4010			853	0			6155
9	Cilíndrica	1712	257				697	1197			3863
10	Cilíndrica	3052	458		409	216	423	71			4629
11	Cilíndrica	1531	230				212	0			1973
12	Cilíndrica	1531	230				212	71			2044
13	Cilíndrica	396	79		409	217	73	71			1245
14	Cilíndrica	2147	430				397	71			3045
15	Cilíndrica	2583	517		409	217	477	0			4203
16	Cilíndrica	1644	329				304	71			2348
17	Cilíndrica	1395	280		4876	108	258	0			6917
18	Cilíndrica	1567	314				290	71			2242
19	Cilíndrica	1043	314				290	71			1718
20	Cilíndrica	1043	314				290	0			1647
21	Cilíndrica	1043	314				290	141			1788
											77382

Tabla 4 2a.

4.3 EVALUACIÓN DE CARGAS SÍSMICAS DE ACUERDO AL MANUAL DE LA C.F.E.

Para los fines que se pretenden en este trabajo, los efectos del sismo se expresarán como un conjunto de fuerzas laterales estáticas equivalentes. En donde el método de análisis consta esencialmente de los siguientes pasos:

1°. Calcular fuerzas laterales aplicadas en los centros de masa de cada una de las dovelas que produzcan efectos equivalentes a la acción sísmica.

2°. Distribuir las fuerzas laterales del paso anterior y los momentos torsionantes asociados a dichas fuerzas entre los sistemas resistentes a carga lateral que conforman la chimenea.

3°. Analizar cada sistema resistente ante las cargas laterales que le correspondan.

Para calcular las fuerzas sísmicas en las diferentes dovelas de la chimenea se considerará que estas fuerzas son originadas en función de la masa de la estructura así como de la aceleración espectral que es derivada del espectro de diseño correspondiente a la zona sísmica y el tipo de terreno en el cual se encuentra la chimenea y que este conjunto de fuerzas de inercia laterales actuaran en el centro de cada una de las dovelas, en las que se suponen concentradas las masas, dichas fuerzas se encuentran en función del período fundamental de la chimenea.

En la tabla 4.3a se muestra el peso obtenido por efecto sísmico de la chimenea.

Carga sismica de la chimenea

Dovela	Sección	Acero Kg	Concreto Kg	Ducto Kg	Plataforma Kg	Escalera Kg	Atesadores longitudinales	Atesadores circunferenciales	Placa base	Cenicero	Carga total
1	Cónica	5050					0	0	1295		6345
2	Cónica	4721					0	0			4721
3	Cónica	4380					0	139			4519
4	Cónica	4039					0	103			4142
5	Cónica	3697					0	140			3837
6	Cilíndrica	3225					0	129		493	3847
7	Cilíndrica	917	46		1218	108	697	1694			4680
8	Cilíndrica	1123	169	4010			853	0			6155
9	Cilíndrica	1712	257				697	1197			3863
10	Cilíndrica	3052	458		353	216	423	71			4573
11	Cilíndrica	1531	230				212	0			1973
12	Cilíndrica	1531	230				212	71			2044
13	Cilíndrica	396	79		353	217	73	71			1189
14	Cilíndrica	2147	430				397	71			3045
15	Cilíndrica	2583	517		353	217	477	0			4147
16	Cilíndrica	1644	329				304	71			2348
17	Cilíndrica	1395	280		4211	108	258	0			6252
18	Cilíndrica	1567	314				290	71			2242
19	Cilíndrica	1043	314				290	71			1718
20	Cilíndrica	1043	314				290	0			1647
21	Cilíndrica	1043	314				290	141			1788
											75075

Tabla 4 3a

El Manual de Obras Civiles de la C.F.E. edición 1993 establece para estructuras como la estudiada en esta tesis la siguiente clasificación.

Datos descriptivos de la chimenea.

Por su destino e importancia pertenece al grupo "A".

Por su estructuración es clasificada como TIPO 4.

Por ser una estructura de acero el factor de ductilidad o comportamiento sísmico que se utilizará en el desarrollo de su análisis será $Q = 3$.

Por el lugar donde se ubica la refinería, la zona sísmica correspondiente es la "D".

Por las características del terreno donde se localiza la chimenea pertenece al tipo de suelo I.

Los coeficientes correspondientes a la zona sísmica y al tipo de suelo en los espectros de diseño de la tabla 3.1 se muestran a continuación.

$T_a(s) = 0.0$	$T_b(s) = 0.6$	$r = 1/2$	$a_0 = 0.50$	$c = 0.50$
----------------	----------------	-----------	--------------	------------

De estos coeficientes los valores de las ordenadas espectrales se multiplican por 1.5 debido a la importancia de la estructura, resultando lo siguiente:

$$T_a(s) = 0.0$$

$$T_b(s) = 0.6$$

$$r = 1/2$$

$$a_0 = 0.50 \times 1.5 = 0.75$$

$$c = 0.50 \times 1.5 = 0.75$$

Establecidos los coeficientes que serán utilizados en el análisis de la chimenea, se realiza el cálculo del periodo fundamental aplicando la ecuación 3-14.

Desarrollando:

$$T_e = 2\pi \left[\frac{M}{K} \right]^{1/2}$$

donde k representa la rigidez de la chimenea, la cual es determinada aplicando la siguiente ecuación

$$k = 1.25 \frac{Mg}{\sigma}$$

donde

σ = desplazamiento lateral en la punta de la chimenea ocasionado por las cargas distribuidas lateralmente en cada una de las dovelas.

g = Aceleración de la gravedad.

M = Masa de la chimenea.

El peso de la chimenea por efecto sísmico es 75075 Kg.

Realizando operaciones se tiene.

$$M = \frac{75075 \text{Kg}}{9.81 \frac{m}{s^2}} = 7653 \frac{\text{Kg} s^2}{m}$$

$$\sigma = 0.1146 \text{ m}$$

Sustituyendo los valores ahora conocidos en la fórmula de la rigidez tenemos

$$k = 1.25 \frac{7653 \text{kg} s^2 / m \cdot 9.81 \frac{m}{s^2}}{0.1146 \text{m}} = 818891.03 \frac{\text{kg}}{m}$$

Sustituyendo en la ecuación de una chimenea con base rígida para conocer el periodo fundamental se tiene

$$Te = 2\pi \left[\frac{7653 \text{kg} s^2 / m}{818891.03 \text{kg} / m} \right]^{1/2}$$

realizando operaciones se tiene

$$Te = 2\pi [0.010 s^2]^{1/2}$$

resultando

$$Te = 0.6 \text{ seg}$$

DESCRIPCIÓN DE LA CHIMENEA.

Conocido el periodo fundamental éste se representa con la letra T por desarrollarse el análisis estático.

Con el fin de tener en cuenta el comportamiento inelástico de la chimenea, aunque sea de forma aproximada. Se reducirán las ordenadas espectrales dividiéndolas entre el factor reductivo Q' esto con el fin de obtener las fuerzas sísmicas reducidas por ductilidad.

Para la chimenea en análisis el factor reductivo se calculará como

$$Q' = Q \text{ (factor de ductilidad o comportamiento sísmico).}$$

$Q' = 3$ porque el periodo fundamental es mayor que el periodo característico que delimita la meseta.

$$T > T_a$$

$$0.6 > 0.0$$

Pero de especificaciones de las Normas Técnicas Complementarias Diseño por Sismo del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal como la estructura no cumple con algunas relaciones las cuales la hagan considerar como regular el valor de Q' se multiplicara por 0.8 "factor de reducción por ductilidad".

Con lo que se tendrá ahora

$$Q' = 3 \times 0.8$$

$$Q' = 2.4$$

Una vez establecido el valor que se utilizará para representar al factor de ductilidad, se debe conocer el valor de la ordenada del espectro de aceleraciones para el diseño sísmico que en el análisis desarrollado en este trabajo tomara el siguiente factor.

$$a = c$$

$$a = 0.75$$

porque $T_a \leq T \leq T_b$ sustituyendo $0.0 \leq 0.6 = 0.6$	el periodo fundamental es mayor que uno de los periodos de la meseta e igual que el otro.
---	---

DESCRIPCIÓN DE LA CHIMENEA.

En el centro de cada una de las dovelas en las cuales fue dividida la chimenea, debido a que su periodo fundamental resulto igual al periodo característico T_b que delimita la meseta se aplica una fuerza horizontal definida por la ecuación 3-6, ya que el periodo efectivo de la chimenea es mayor que el otro periodo característico de la meseta, representado por

$$T_e > T_a$$

sustituyendo queda:

$$0.6 > 0.0$$

el factor de incremento vale $\epsilon = 1.45$ por tratarse de una estructura de acero.

Conocidos ahora todos los factores que intervienen en la ecuación para obtener las fuerzas sísmicas se aplica la fórmula 3-6

$$P_n = 0.85 W_n h_n \frac{\sum_{n=1}^N W_n}{\sum_{n=1}^N W_n h_n} \frac{a}{Q'} \epsilon$$

Donde:

W_n = Peso de cada una de las dovelas.

h_n = Altura al centro de gravedad de cada una de las dovelas medida desde el desplante.

Q' = Factor reductivo por ductilidad.

a = Ordenada espectral.

Para conocer cada fuerza horizontal que actúa sobre las dovelas en la ecuación 3-6 se realiza una serie de iteraciones en las cuales el valor de cada uno de los $W_n h_n$ se sustituye dependiendo del nivel al cual se quiere conocer la fuerza actuante.

DESCRIPCIÓN DE LA CHIMENEA.

Para tener en cuenta los efectos de los modos superiores de vibración en el último segmento se aplica adicionalmente una fuerza horizontal definida por la ecuación 3-11

$$P_s = 0.15W \frac{a}{Q'} \varepsilon$$

Donde:

W = Peso de la chimenea.

a = Ordenada espectral.

Q' = Factor reductivo por ductilidad.

En la tabla 4.3b se presentan las cargas sísmicas obtenidas aplicando lo anteriormente señalado.

Donde:

Dov = Cada una de las dovelas.

hn = Altura de cada dovela considerada desde el punto de desplante de la chimenea al centro de masas de la sección considerada.

Wn = Peso de cada una de las dovelas.

Pn = Carga que actúa sobre cada dovela.

DESCRIPCIÓN DE LA CHIMENEA.

Dov	Hn	Hn2	Wn	HnWn	Hn2 Wn	Pn
21	47.1725	2225.2	1776.1	83783.1	3952257.2	4664
20	44.8375	2010.4	1646	73802.5	3309120.7	1200
19	42.5025	1806.5	1711	72721.8	3090857.3	1136
18	40.1675	1613.4	2758.3	110794.0	4450318.6	1360
17	37.96	1441.0	2399.1	91069.8	3457011.0	3456
16	35.695	1274.1	2890.9	103190.7	3683391.2	1168
15	32.545	1059.2	4440.7	144522.6	4703487.4	1776
14	29.02	842.2	3756.1	109002.0	3163238.7	1088
13	27.125	735.8	745.6	20224.4	548586.9	384
12	25.975	674.7	2807.8	72932.6	1894424.4	608
11	24.265	588.8	2742.7	66551.6	1614875.0	528
10	21.705	471.1	5534.5	120126.3	2607341.8	1040
9	19.0437	362.7	4717.8	89844.4	1710969.2	744
8	17.46	304.9	2554.3	44598.1	778682.4	272
7	16.32	266.3	3816.6	62286.9	1016522.4	464
6	14.6093	213.4	3346.9	48895.9	714334.4	432
5	12.1004	146.4	3830.1	46345.7	560802.0	368
4	9.4792	89.9	4136.6	39211.7	371695.2	288
3	6.858	47.0	4512.1	30944.0	212213.8	208
2	4.2368	18.0	4720.8	20001.1	84740.6	120
1	1.6156	2.6	5050.2	8159.1	13181.8	40

Tabla 4.3b

4.4 PROGRAMA DE CÓMPUTO PARA DETERMINAR LAS CARGAS GRAVITACIONALES Y SÍSMICAS.

De acuerdo a los requerimientos presentados por la chimenea en estudio, se realizó un programa de cómputo. El programa es un conjunto de instrucciones traducidas al lenguaje de maquina por medio del compilador Quickbasic.

En este programa se aplicaron las estructuras básicas de programación, lo cual permite observar la secuencia en que se efectúan los cálculos, y para facilitarlos se indican comentarios para ubicar en que momento se inicia cada una de las correlaciones utilizadas. Al hacer de esta manera el programa, en cuanto a instrucciones se hace muy grande, es por lo que en el anexo "B" sólo se presenta el diagrama de flujo en el cual se indican los tipos de chimeneas que pueden ser calculadas.

El uso de subrutinas dentro del programa pueden compactarlo, aún así se prefirió hacerlo de una manera secuencial por lo ya mencionado.

El programa calcula para una

- **Chimenea de tipo combinada** (parte baja cónica y parte superior cilíndrica).
- **Chimenea cónica.**
- **Chimenea cilíndrica.**

En cada una de las dovelas en las cuales sean divididas las secciones que forman a la estructura; el peso de las placas de acero, en las dovelas donde se encuentre calcula el peso del material refractario, el peso ejercido por el cenicero y los pesos provocados por las cargas externas como lo son los ductos, escaleras y plataformas las cuales son afectadas por factores gravitacionales y sísmicos; este programa también calcula un espesor equivalente del espesor que se tiene de material refractario a uno resultante de acero, junto con los momentos de inercia provocados por el espesor resultante.

Las variables utilizadas en este programa son:

- Tipo de chimenea que se desea analizar.
- Datos de la placa base.
- Diámetros medios de cada una de las dovelas en las cuales sea dividida la parte cónica.
- Datos para el cálculo del peso del concreto refractario.
- Datos del cálculo para cada una de las plataformas incluyéndose la parte tributaria de escalera correspondiente.
- Datos para el cálculo del peso de los ductos.
- Datos para el cálculo del peso del cenicero.

El programa se probó procesando la información que presentó la chimenea en una calculadora programable, donde los resultados obtenidos son muy similares a los arrojados en el programa que aquí se presenta.

La diferencias de los valores obtenidos en ambos programas se pueden atribuir a la precisión con que cuenta cada una de las máquinas en donde fueron procesados.

Dentro de las limitaciones que tiene este programa, es que para el cálculo del peso en cada una de las dovelas no debe de existir en esta más de un espesor de placa de acero.

Los resultados se despliegan por pantallas que se detienen para poder observarlos y bastara con oprimir una tecla para desplegar más resultados.

Este programa puede considerarse para ser utilizado como una herramienta en trabajos futuros, donde se requiera determinar el peso de una estructura como la analizada en esta tesis.

Una ventaja de contar con este programa es que puede ser actualizado al momento que se cuente con información diferente a la de la chimenea analizada.

La forma de ingresar la información al programa se muestra en las siguientes hojas.

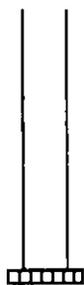
Universidad Nacional Autónoma de México
Escuela Nacional de Estudios Profesionales Aragón

“Análisis sísmico estático y diseño estructural
de una chimenea metálica a piso autoportada”

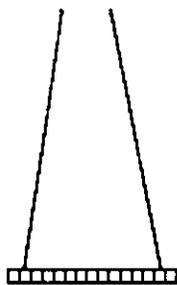
Programa de cómputo con el cual se obtuvieron
las cargas sísmicas que actúan sobre el cuerpo de la chimenea
considerando su ubicación en Salina Cruz Oax.

Presione Una Tecla para Continuar

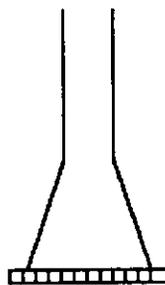
DESCRIPCIÓN DE LA CHIMENEA.



Tipo 1



Tipo 2



Tipo 3

¿ Que tipo de Chimenea se desea Analizar ? 3

Datos en la base de la chimenea

Placa Superior

Diámetro Interno, -m· ? 4.1907

Diámetro Externo, -m· ? 4.4642

Placa Inferior

Diámetro Interno, -m· ? 4.1782

Diámetro Externo, -m· ? 4.4642

Espesor de la base, -m· ? 0.0381

Atiesadores

Número de atiesadores, -m· ? 40

Base Menor Atiesador, -m· ? 0.1049

Base Mayor Atiesador, -m· ? 0.137

Espesor del Atiesador, -m· ? 0.0127

Altura del Atiesador, -m· ? 0.5334

DESCRIPCIÓN DE LA CHIMENEA.

Número de Dovelas ? 21

Datos Para el Calculo del Peso de Acero

Altura de la dovela 1	·m· ? 2.6212:
Espesor Placa de Acero 1	·m· ? 0.01905:
Altura de la dovela 2	·m· ? 2.6212:
Espesor Placa de Acero 2	·m· ? 0.01905:
Altura de la dovela 3	·m· ? 2.6212:
Espesor Placa de Acero 3	·m· ? 0.01905:
Altura de la dovela 4	·m· ? 2.6212:
Espesor Placa de Acero 4	·m· ? 0.01905:
Altura de la dovela 5	·m· ? 2.6212:
Espesor Placa de Acero 5	·m· ? 0.01905:
Altura de la dovela 6	·m· ? 2.3965:
Espesor Placa de Acero 6	·m· ? 0.01905:
Altura de la dovela 7	·m· ? 1.025:
Espesor Placa de Acero 7	·m· ? 0.0127:
Altura de la dovela 8	·m· ? 1.255:
Espesor Placa de Acero 8	·m· ? 0.0127:
Altura de la dovela 9	·m· ? 1.9125:
Espesor Placa de Acero 9	·m· ? 0.0127:
Altura de la dovela 10	·m· ? 3.41:
Espesor Placa de Acero 10	·m· ? 0.0127:
Altura de la dovela 11	·m· ? 1.71:
Espesor Placa de Acero 11	·m· ? 0.0127:
Altura de la dovela 12	·m· ? 1.71:
Espesor Placa de Acero 12	·m· ? 0.0127:
Altura de la dovela 13	·m· ? 0.59:
Espesor Placa de Acero 13	·m· ? 0.00953:
Altura de la dovela 14	·m· ? 3.2:
Espesor Placa de Acero 14	·m· ? 0.00953:

DESCRIPCIÓN DE LA CHIMENEA.

Altura de la dovela 15 ·m· ? 3.85:
Espesor Placa de Acero 15 ·m· ? 0.00953:

Altura de la dovela 16 ·m· ? 2.45:
Espesor Placa de Acero 16 ·m· ? 0.00953:

Altura de la dovela 17 ·m· ? 2.08:
Espesor Placa de Acero 17 ·m· ? 0.00953:

Altura de la dovela 18 ·m· ? 2.335:
Espesor Placa de Acero 18 ·m· ? 0.00953:

Altura de la dovela 19 ·m· ? 2.335:
Espesor Placa de Acero 19 ·m· ? 0.00635:

Altura de la dovela 20 ·m· ? 2.335:
Espesor Placa de Acero 20 ·m· ? 0.00635:

Altura de la dovela 21 ·m· ? 2.335:
Espesor Placa de Acero 21 ·m· ? 0.00635:

Sección Cónica

Diámetro Interno Superior, ·m· ? 2.845

Diámetro Interno Inferior, ·m· ? 4.23

Termino de Sección Cónica, ·#· ? 5

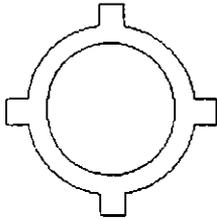
Datos Para Calculo del Peso del Concreto Refractario

Dovela donde inicia el refractario, 6

Espesor del Refractario ·m· ? 0.0381

Fracción con Refractario en 6 ·fracc· ? 0.33695

Plataformas



Tipo 1



Tipo 2
Hacia Calentadores

Cuántas Plataformas Existen en la Chimenea? 4

Plataforma 4 es Tipo,	· 1 o 2 · ? 1
Plataforma 4 Tipo 1 en dovela ?	17
Ángulo Plataforma,	· 0-360° · ? 360°
Diámetro Interior Plataforma,	· m · ? 2.96
Diámetro Exterior Plataforma,	· m · ? 5.36
Secciones Rectangulares,	· # · ? 4
Base Sección Rectangular,	· m · ? 1.62
Altura Sección Rectangular,	· m · ? 1.0
Longitud Escalera en 17	· m · ? 2.7075

Datos Para Calculo del Peso de Atiesadores Circunferenciales

- 1) LD 127 x 76.2 x 9.5
- 2) Solera 127 x 9.5
- 3) Cajón 304.8 x 304.8 x 19
- 4) Solera 101.6 x 9.5
- 5) Solera 101.6 x 6.35

Tipos de Atiesadores en Dovela 21 ? 2

Número de Atiesadores en Dovela 21 = 1

Número de Atiesadores en Dovela 21 = 1

Tipo = ? 4

Tipo = ? 5

Diámetro = ? 2.9591

Diámetro = ? 2.864

DESCRIPCIÓN DE LA CHIMENEA.

Datos Para Calculo del Peso de Atiesadores Longitudinales

- 1) Solera 127 x 9.5
- 2) Cajón 304.8 x 304.8 x 19

Tipo de Atiesadores en Dovela 9 ? 1
Número de Atiesadores en Dovela 9 = 4 Tipo = ? 2 Longitud = ? 1.255

Datos del Ducto

Longitud del Ducto, · m · ? 2.27
Base del Ducto, · m · ? 1.699
Altura del Ducto, · m · ? 2.429
Espesor de Acero en Ducto, · m · ? 0.00635
Espesor de Concreto en Ducto, · m · ? 0.0381
Ubicación del Ducto, · m · ? 8

Datos del Cenicero

Diámetro de Cenicero, · m · ? 2.845
Espesor de Acero en Cenicero, · m · ? 0.00635
Número de CPS para Cenicero, · m · ? 4
Longitud de los CPS, · m · ? 2.845
Ubicación del Cenicero, · m · ? 6

Tipo de Suelo que se tiene [#] ; Tipo Suelo 10
Tipo de Estructura[A o B] ; Tipo Est A

CAPITULO 5

ANÁLISIS ESTRUCTURAL CON EL PROGRAMA "ROBOT V6".

5.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROGRAMA.

El "ROBOT V6" es un programa de cómputo con un sistema gráfico integrado para la generación, análisis y diseño estructural, tanto en el plano, como en un sistema tridimensional. Este programa en la generación de una estructura facilita, la revisión de sus datos, la verificación de los resultados y la documentación de su análisis.

El "ROBOT V6" como se menciona anteriormente es un sistema gráfico integrado, lo cual quiere decir que todos sus módulos trabajan en un ambiente integrado al iniciar una sesión. Algunos de los módulos se pueden llamar y correr desde otros, pero todas las funciones individuales pueden llamarse directamente desde el menú principal.

La función de cada uno de los módulos del "ROBOT V6" son las siguientes:

ANÁLISIS GRÁFICO. Este módulo permite la presentación en la pantalla de los datos de entrada y los resultados del análisis en forma gráfica, (se presentan la geometría de la estructura, las propiedades de elementos, los soportes, las cargas, las fuerzas, los diagramas de momentos, la deformación de la estructura, los esfuerzos, y los desplazamientos, etc.).

PROYECTO. Este módulo permite guardar los datos de entrada de un archivo temporal de trabajo y los resultados de los cálculos obtenidos de la sesión en cualquier momento.

RECAPITULACIÓN. Este módulo permite la presentación e impresión de los datos de entrada y los resultados del análisis en forma de texto, La estructura de éste módulo permite simultáneamente la presentación de múltiples ventanas que contienen los datos de entrada o de salida.

DISEÑO TRIDIMENSIONAL. Este módulo permite la introducción gráfica y la edición de los datos de entrada. En este módulo el usuario puede definir todos los datos requeridos para un análisis estructural en dos ó en tres dimensiones, la geometría, las propiedades de elementos, los soportes, los casos de carga y el tipo de análisis.

DISEÑO EN ACERO. Este módulo realiza el chequeo y el dimensionamiento de los miembros de acero de acuerdo con la especificación del código seleccionado.

DISEÑO EN ALUMINIO. Este módulo ejecuta el chequeo y el dimensionamiento de miembros en aluminio de acuerdo a la especificación del código elegido.

DISEÑO EN MADERA. Este módulo realiza el chequeo y el dimensionamiento de miembros en madera de acuerdo con la especificación del código señalado.

PROYECTO DE CONCRETO REFORZADO. Este módulo calcula el acero de refuerzo en los miembros de concreto reforzado de acuerdo a la especificación del código seleccionado.

EDITOR. Permite la creación directa de un texto de entrada, la corrección inmediata de errores y la modificación directa de los datos, con este módulo en cualquier momento se puede tener acceso a todos los demás módulos.

UNIONES. Este módulo diseña las conexiones para los miembros de acero de acuerdo con la especificación del código elegido.

TABLAS DE SECCIONES. Este módulo maneja la base de los datos estandar y la que el usuario desee crear, sobre las propiedades y los nombres de las secciones de los perfiles. La base de los datos estandarizados de las secciones incluye de USA y Europeos.

SECCIONES. Este módulo permite la creación de secciones transversales, simples o complejas y el cálculo de propiedades geométricas, con éste módulo se pueden crear también secciones compuestas de varios materiales.

Los aspectos más relevantes del "ROBOT V6" son:

- 1.- Puede correr en dos modos; interacción gráfica total ó en el modo de texto por etapas.
- 2.- La estructura en análisis puede ser generada usando el editor gráfico tridimensional, con la capacidad para editar automáticamente un archivo en textos ASCII.
- 3.- Puede analizar modelos estructurales hasta de 32 500 nudos y 32 500 elementos ya sean estas placas, vigas, etc.

4.- Realiza un chequeo de los datos de entrada en el editor gráfico.

5.- Presenta gráficamente el modelo estructural y tiene la capacidad de mostrar los resultados de salida en forma gráfica como son: deformaciones, fuerzas, momentos, etc.

6.- Puede realizar un análisis estructural sísmico estático ó uno dinámico.

7.- Puede correr en red o de manera individual.

8.- Revisa y diseña secciones de elementos estructurales en acero, concreto, madera, etc.

El archivo que contiene los datos de entrada que el Robot V6 utiliza es un texto libre de formato llamado ASCII, este archivo puede ser creado directamente usando el módulo de diseño gráfico en 3D o usando el módulo de editor de texto ya sea del mismo programa o cualquier otro que maneje texto en formato ASCII, incluso el mismo editor de MS-DOS es capaz de crear y modificar las características de los datos de entrada. El archivo con los datos de entrada contiene como mínimo los siguientes bloques de información de la estructura:

- * Tipo de estructura.

- * Geometría de la estructura. (Número de nodos y sus coordenadas, número de elementos y los nodos que los componen).

- * Propiedades de los elementos. (Material, geometría, rotación local, etc).

- * Condiciones de apoyo.

- * Condiciones de cargas.

- * Tipo de análisis.

En el programa "ROBOT V6" la descripción y definición de las cargas, se refieren para el caso de un análisis estructural en el plano. El procedimiento de introducción de datos que se describe, corresponde al modo de "Análisis Gráfico".

Los tipos de carga que se maneja en el programa son:

- * Cargas concentradas en los nudos.

- * Cargas concentradas en cualquier punto de la estructura.

- * Cargas distribuidas a lo largo del elemento.

- * Cargas por temperatura.
- * Cargas en superficies de los elementos (placas).
- * Cargas móviles.
- * Cargas por presión.

Cada una de las cargas anteriores son cargadas en el programa de diferente forma por ejemplo, las cargas distribuidas son aplicadas en coordenadas locales, las cargas por temperatura tienen dos opciones de ser analizadas, ya sea en °C o °F. Con excepción de las cargas distribuidas todas las demás cargas son introducidas en coordenadas globales.

Una vez definidas las condiciones que actúan sobre la estructura y el tipo de cargas, se tomará el primer paso que es definir un sistema coordenado y una conversión de signos.

En todas las Estructuras se debe iniciar por definir la geometría y la localización de los nudos, se definen los elementos y se indican las propiedades de cada uno de ellos.

La localización de los nudos determina las coordenadas que son definidas con la regla de la mano derecha. El usuario puede cambiar el sistema coordenado sin ningún problema, siempre y cuando sea bien definido para evitar problemas. El programa tiene la capacidad para trabajar en los cuatro diferentes tipos de coordenadas que son:

- * Sistema cartesiano (2D).
- * Sistema cilíndrico (polar).
- * Sistema cartesiano (3D).
- * Sistema esférico.

Para trabajar sólo se escoge uno de los sistemas globales mencionados y se define el sistema coordenado relativo para definir con esto las traslaciones o rotaciones en relación al sistema global de coordenadas.

Para la chimenea en estudio el sistema coordenado en tres dimensiones fue el utilizado.

DISEÑO DE ESTRUCTURAS EN ACERO.

El diseño de una estructura de acero con el "ROBOT V6" incluye su geometría y las cargas que sobre ella actúan, el cálculo de las fuerzas internas, los desplazamientos y finalmente la revisión con el código respectivo para el dimensionamiento de los elementos estructurales.

El propósito del diseño de acero es de que las secciones propuestas de los elementos estructurales, sean las adecuadas de acuerdo a las solicitaciones de carga. (El diseño con el "ROBOT V6" se realiza una vez efectuado el análisis).

Los miembros estudiados con el módulo de diseño de acero pueden ser vigas simples, componentes estructurales ó estructuras enteras.

El cálculo se puede realizar miembro por miembro ó en su conjunto ya que en todos los casos se consideran las fuerzas internas a las que están sujetas los elementos.

El diseño también puede realizarse manualmente, para lo cual es necesario seleccionar el elemento e introduciendo el usuario los datos necesarios y las acciones a las que estará sujeto el elemento elegido tales como: momentos, cortantes, fuerzas axiales, etc. Así como las propiedades geométricas del perfil por utilizar; además es posible modificar los elementos mecánicos del miembro así como también las propiedades del perfil seleccionado.

El módulo de diseño en acero es interactivo, lo cual permite al usuario definir todos los miembros y parámetros mientras trabaja. Puede usarse cualquier miembro de la estructura sin llevar un orden. El usuario tiene la facilidad de proponer en este módulo el código para el diseño, y así poder manejar los perfiles para que éstos sean revisados y ver la funcionalidad de cada uno de ellos.

Los códigos que el programa contiene para el diseño en acero son:

- AISC - ASD , LRFD (USA).
- BS5950 (GREAT BRITAIN).
- CM66, ADD80 (FRANCE).
- MV 103 (SPAIN).
- DIN 18800 (GERMANY).
- PN - 90/B-32000 (POLAND).
- EUROCODE 3.

Al generar un nuevo modelo con este programa lo primero que se debe de hacer es que dentro del menú "preferencias", se establecerán las unidades con las cuales se trabajara, posteriormente se determinara el tipo de estructura que se analizara, para lo cual se tendra en cuenta que el "ROBOT V6" puede analizar los siguientes tipos de estructuras

- * Marcos en el plano.
- * Armaduras en el plano.
- * Armaduras en el espacio (tridimensionales).
- * Entramados ó armazón de madera.
- * Marcos en el espacio (tridimensionales).
- * Estructuras planas a tensión.
- * Esfuerzos en estructuras planas.
- * Estructuras de ejes simétricos.

Para cada tipo de estructura se deben definir las propiedades y las condiciones para su análisis.

El "ROBOT V6" maneja los siguientes tipos de análisis:

- | | |
|----------------------------|--------------------------|
| a) Análisis estático. | b) Análisis dinámico. |
| a.1) Lineal. | b.1) Modal. |
| a.2) No lineal. | b.2) Armónico. |
| a.3) Por flexión o pandeo. | b.3) Espectral. |
| | b.4) Sísmico. |
| | b.5) Transitorio lineal. |

Para efectuar un análisis estructural con el "ROBOT V6" es necesario definir la siguiente información:

- a) Geometría y dimensionamiento de la estructura (modelo de análisis).
- b) Condiciones de frontera entre la conectividad de los elementos estructurales.
- c) Propiedades geométricas, mecánicas y materiales de los elementos estructurales que conforman dicha estructura (módulo de elasticidad, relación de poisson, pesos volumétricos, momentos de inercia, área de la sección transversal, etc.).

d) Localización, tipo y magnitud de cargas externas actuantes (en caso de que existan).

e) Definir un sistema de coordenadas bidimensional o tridimensional según sea el caso sobre el cual se hace referencia en la generación de los nudos de conexión en los elementos estructurales, fuerzas actuantes externas, peso propio de la estructura en análisis etc.

En este programa la generación de los nudos es definida por el usuario dependiendo de las restricciones para cada uno de ellos, en este caso se manejan los llamados nudos compatibles. La numeración de nudos en elementos barras puede ser indistinta siempre y cuando se tengan definidas las coordenadas.

En el elemento finito de el método gráfico: para los elementos placas, cascarones ó para los esfuerzos en placas, etc., se debe tener atención en la creación de elementos barra y placa, ya que cada elemento requiere de un trazo diferente.

En este programa se pueden crear nudos intermedios entre dos nudos consecutivos, solo es necesario definir el número de nudos existentes desde el primer nudo hasta el último.

Estas divisiones también se pueden definir en un arco, considerando que se tiene que crear un nudo adicional que enmarcará el radio entre nudo y nudo de la estructura, lo cual es exclusivo del elemento finito.

Los nudos que son apoyos se definirán en el mismo programa, mandando la orden de que se está sometiendo a una restricción.

GENERACION Y CARACTERISTICAS DE LOS ELEMENTOS

El tipo de una estructura es el primer parámetro que se coloca antes de iniciar los datos de entrada de dicha estructura. Esto define la división de espacio usado (2D ó 3D) y controla que los tipos de elementos, los grados de libertad y las cargas, estén disponibles.

Al respecto se consideran los siguientes aspectos:

1.- Mientras se trabaja sobre las vistas proyectadas, los elementos fuera del plano o nudos no están disponibles para su edición ó selección.

2.- No es necesario definir un nudo si se va a crear un nuevo elemento, los nudos se crean automáticamente mientras que los elementos son dibujados.

3.- Un elemento definido por nudos existentes no crea nuevos nudos.

4.- Un elemento borrado remueve nudos si no esta conectado a otros elementos.

5.- Un nudo al ser borrado remueve todos los elementos conectados a él.

6.- Algunas veces es más fácil preseleccionar una fuente de elementos (nudos) y entonces asignar los atributos a todos ellos uno por uno.

7.- Una red incorrecta de elemento finito no necesita borrarse, una nueva definición de la red reemplazará la anterior.

5.2 MODELO DE ANÁLISIS E INFORMACIÓN REQUERIDA.

a) Modelo de análisis.

Para el análisis estructural de la chimenea en estudio, se realizaron dos modelos uno considerando los elementos placa y otro considerando los elementos barra, esto con el propósito de detallar hasta cierto punto la descripción de la información requerida, por otra parte, se definió con detalle la geometría de la estructura así como la localización de la conectividad de los ductos con la chimenea y los diferentes tipos de componentes de la chimenea tales como: placas, perfiles circunferenciales y longitudinales, etc., de acuerdo a como se indica en las figuras 5.2a y 5.2b.

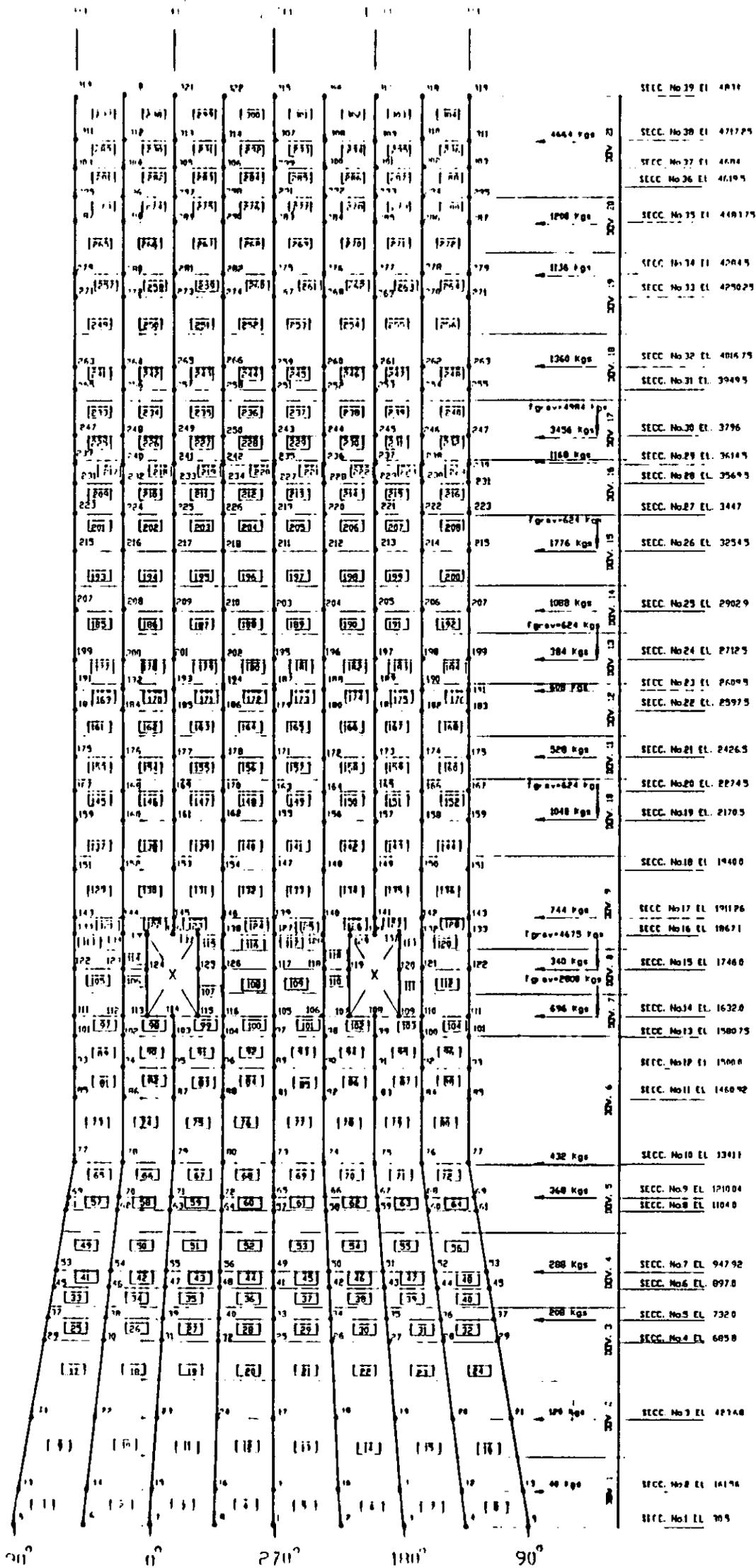
En los modelos que se indican en las figuras antes señaladas, se presenta la localización de los nudos en cada una de las secciones en que se dividió la chimenea para su análisis. También se indican, las fuerzas horizontales debido al sismo, así como las cargas verticales por pesos de plataforma, ductos, etc.

A partir de lo anteriormente descrito se detalló información en la cual se revela la composición estructural del cuerpo de la chimenea especificándose en la misma los detalles concernientes a los miembros individuales en los cuales se incluye la preparación de la conexión en la chimenea para la llegada de los ductos.

Esta información se presenta en las figuras 5.2c.

Lo anterior permite tener plenamente identificados los componentes estructurales (vigas, placas, etc.), conectividad de estos así como las fuerzas actuantes, para un mejor control y manejo en el análisis y diseño de la chimenea.

CHIMILÁ



F.L.E.V. CHIMILÉA

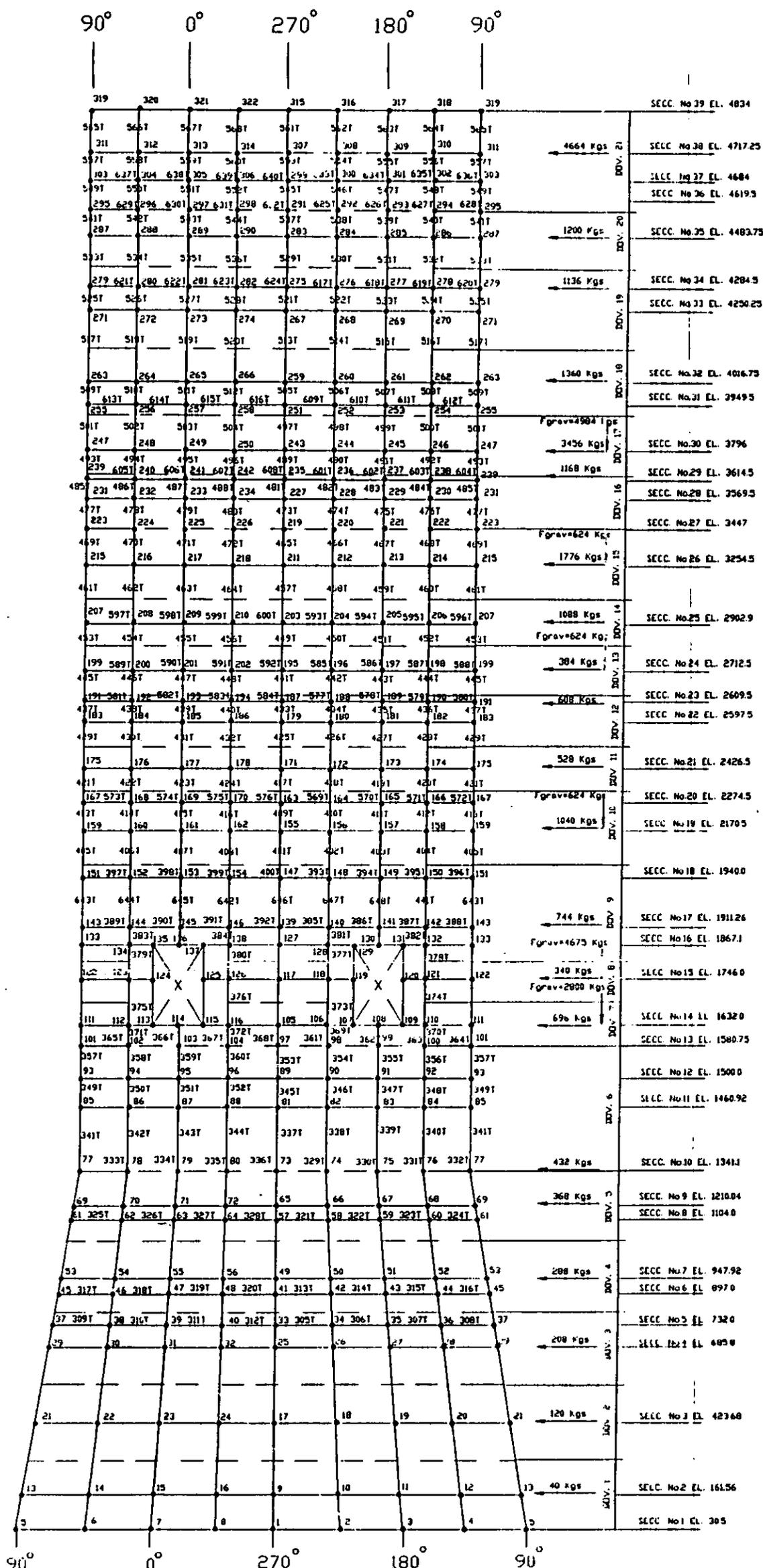
Fig. 5.20 MODELO DE ANÁLISIS

BIBLIOLOGIA

- 1. TRINIS
- 2. ELEMENTOS DE ALABRA
- 3. TRINIS PARA DISEÑO DE LOS DE LOS EN LA ESTRUCTURA CON LOS CALENTAMIENTO
- 4. TRINIS DE ALABRA
- 5. LA ESTRUCTURA DE TRINIS EN LA ESTRUCTURA CON LOS CALENTAMIENTO EN ALABRA
- 6. TRINIS EN LAS ESTRUCTURAS CON LOS CALENTAMIENTO EN LA ESTRUCTURA

INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAJÓN
 ANÁLISIS QUÍMICO ESTÁTICO Y DISEÑO ESTRUCTURAL
 DE UNA ESTRUCTURA METÁLICA A PESO AUTOSOPORTADA
 PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

CHIMENEA



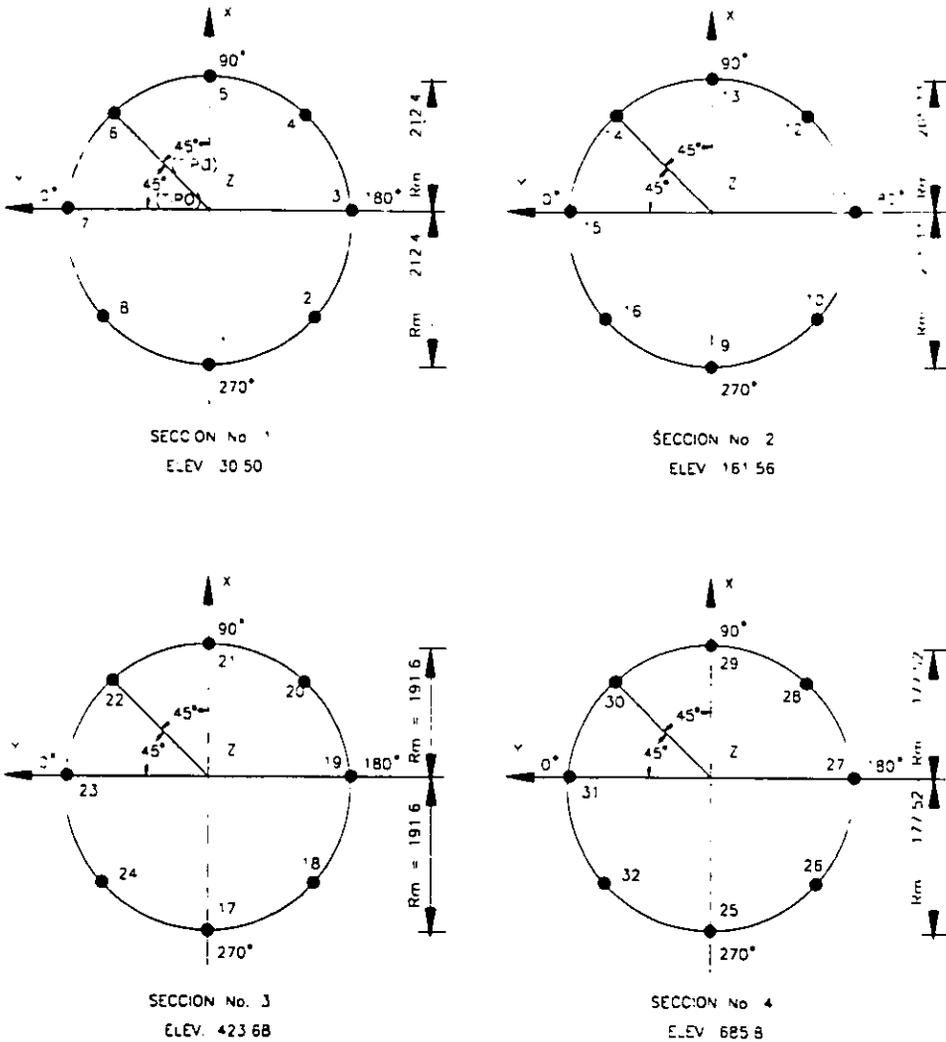
ELEV. CHIMENEA

fig. 5.2b MODELO DE ANALISIS.

SIMBOLOGIA

- NUDO
- 2T ELEMENTOS VIGA
- ⊗ MUECOS PARA CONEXION DE LOS DUCTOS
- DOV. 3 NUMERO DE DOVELA
- NOTA: LA LOCALIZACION DE NODOS Y SUS RESPECTIVAS COORDENADAS EN PLANTA SE INDICAN EN LAS SECCIONES QUE SE MUESTRAN EN LA FIG 5.2c.

	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
	ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARIZON
	ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA CHIMENEA METÁLICA A PISO AUTOSOPORTADA
	TESIS PROFESIONAL QUE PRESENTA: NABOR MORALES GRANADOS PARA OBTENER EL TÍTULO DE: INGENIERO CIVIL

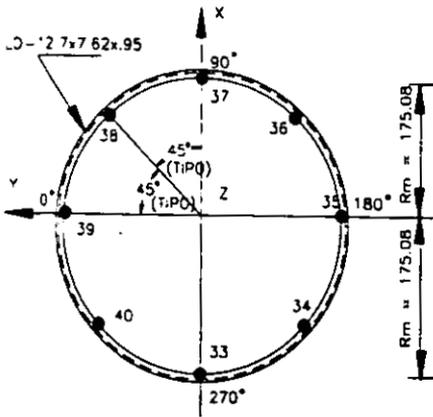


NOTAS

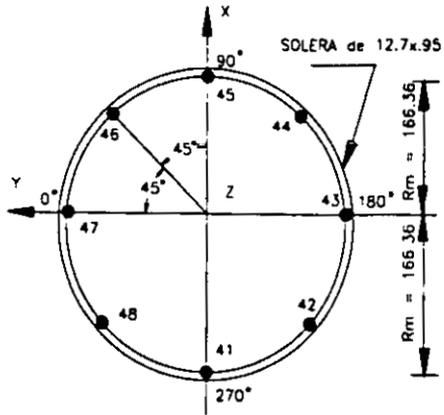
Fig. 5.2c

- 1 - EL ESPESOR DE PLACA EN ESTAS SECCIONES ES DE 905 cms.
- 2 - LAS ACOTACIONES ESTAN DADAS EN cms.
- 3 - R_m = RADIO MEDIO.

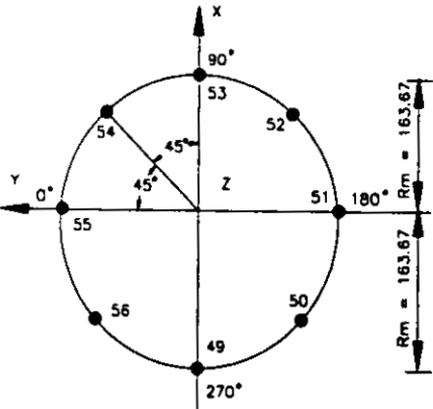
	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
	ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGÓN
	ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA CHIMENEA METÁLICA A PISO AUTOSOPORTADA
	TESIS PROFESIONAL QUE PRESENTA HABOR MORALES GRANADOS PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL



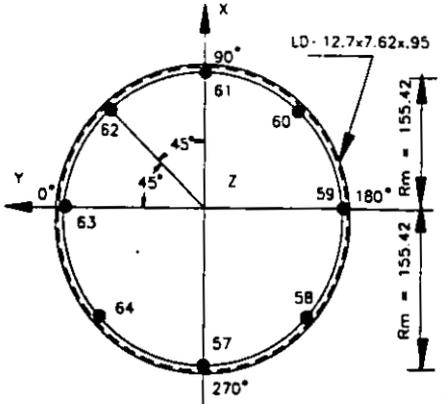
SECCION No. 5
ELEV. 732.0



SECCION No. 6
ELEV. 897.0



SECCION No. 7
ELEV. 947.92



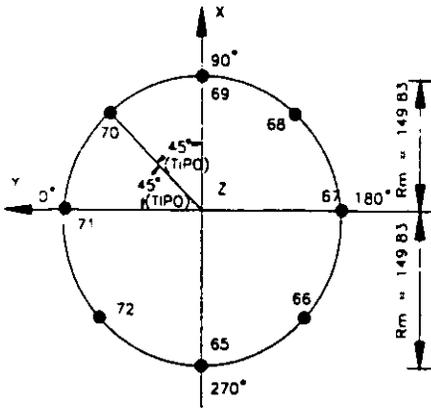
SECCION No. 8
ELEV. 1104.0

NOTAS:

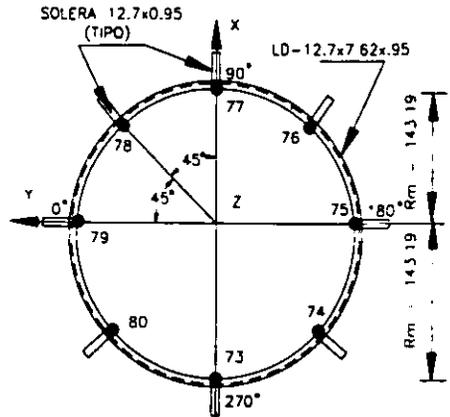
- 1.- EL ESPESOR DE PLACA EN ESTAS SECCIONES ES DE 1.905 cms.
- 2.- LAS ACOTACIONES ESTAN DADAS EN cms.
- 3.- Rm = RADIO MEDIO.

fig. 5.2c

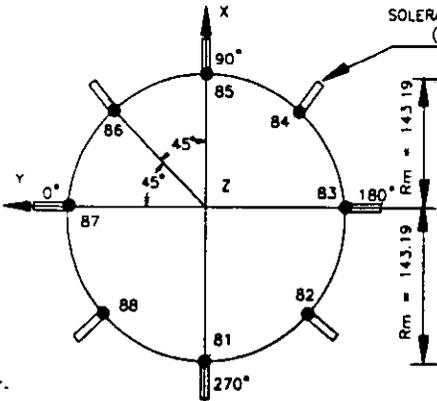
	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON
	ANALISIS ESTRUCTURAL ESTADICO Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA CHIMENEA METALICA A PISO AUTOSOPORTADA
	TESIS PROFESIONAL QUE PRESENTA: HABOR NORALES CRANADOS PARA OBTENER EL TITULO DE: INGENIERO CIVIL



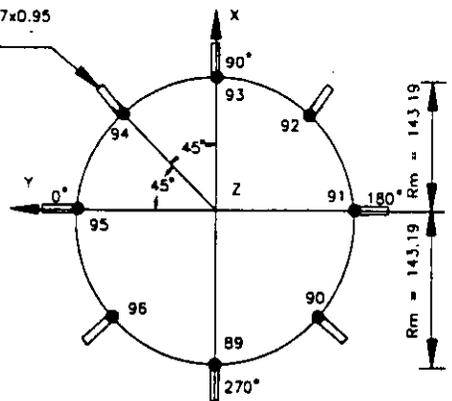
SECCION No. 9
ELEV. 1210.04



SECCION No. 10
ELEV. 1341.1



SECCION No. 11
ELEV. 1460.92



SECCION No. 12
ELEV. 1500.0

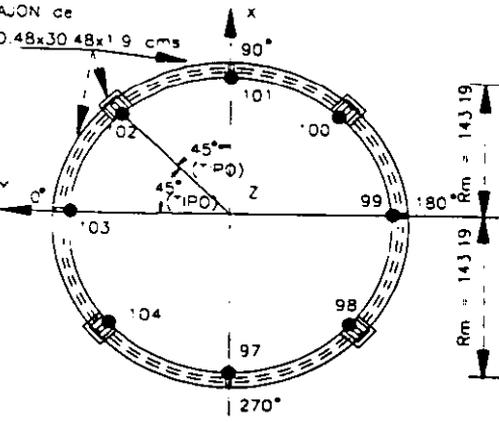
NOTAS.

- 1.- EL ESPESOR DE PLACA EN ESTAS SECCIONES ES DE 1.905 cms.
- 2.- LAS ACOTACIONES ESTAN DADAS EN cms.
- 3.- Rm = RADIO MEDIO.

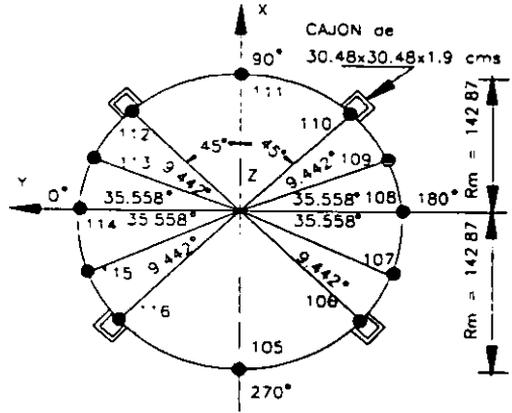
fig. 5.2c

	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGÓN
	ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA CHIMENEA METÁLICA A PISO AUTOSOPORTADA
	TESIS PROFESIONAL QUE PRESENTA: NABOR MORALES CALANOS
	PARA OBTENER EL TÍTULO DE: INGENIERO CIVIL

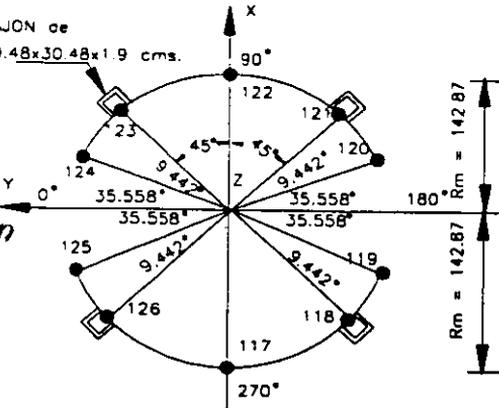
ANÁLISIS ESTRUCTURAL CON EL PROGRAMA "ROBOT V6".



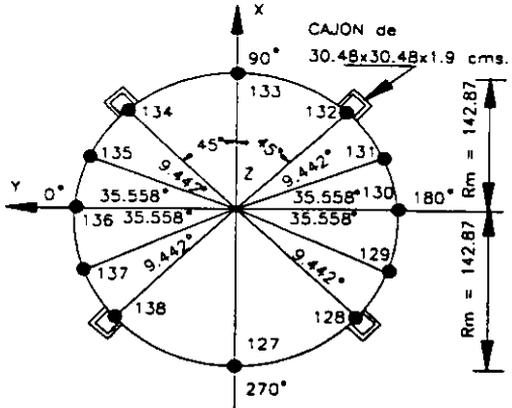
SECCION No. 13
ELEV. 1580.75



SECCION No. 14
ELEV. 1632.0



SECCION No. 15
ELEV. 1746.0



SECCION No. 16
ELEV. 1867.1

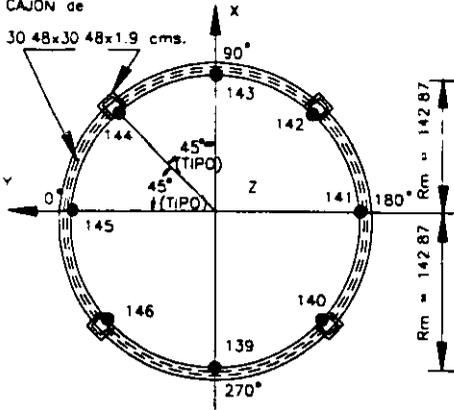
NOTAS:

- EL ESPESOR DE PLACA EN LA SECCION 13 ES DE 1.905 cms.
- EL ESPESOR DE PLACA EN LAS SECCIONES 14, 15 y 16 ES DE 1.27 cms.
- LAS ACOTACIONES ESTAN DADAS EN cms.
- Rm = RADIO MEDIO.

fig. 5.2c

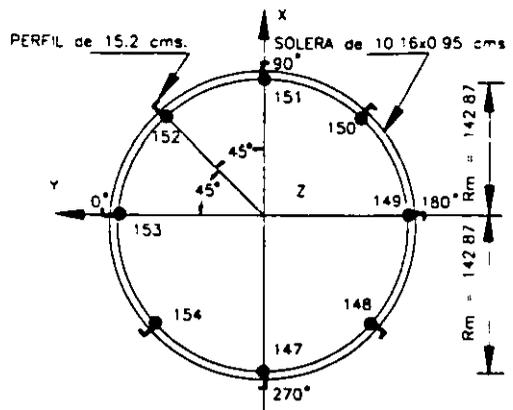
	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
	ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON
	ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA CHIMENEA METÁLICA A PISO AUTOSOPORTADA
	TESIS PROFESIONAL QUE PRESENTA: HABOR MORALES GRANADOS PARA OBTENER EL TÍTULO DE: INGENIERO CIVIL

CAJON de
30 48x30 48x1.9 cms.

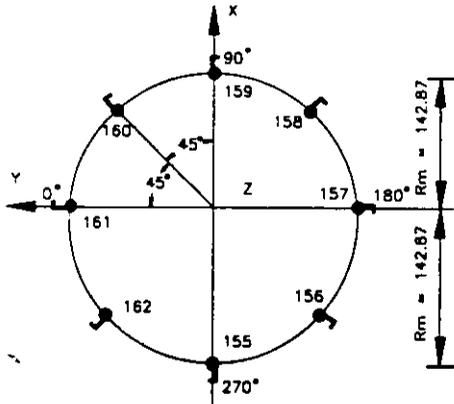


SECCION No. 17
ELEV. 1911.26

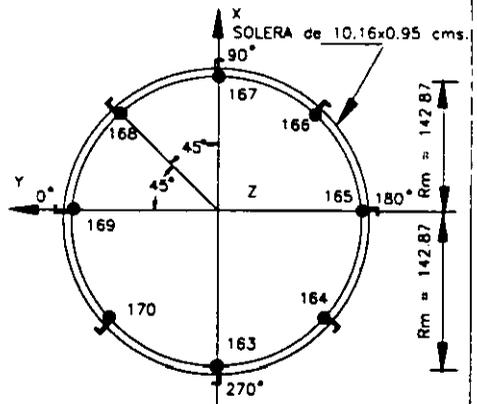
PERFIL de 15.2 cms.



SECCION No. 18
ELEV. 1940.0



SECCION No. 19
ELEV. 2170.5



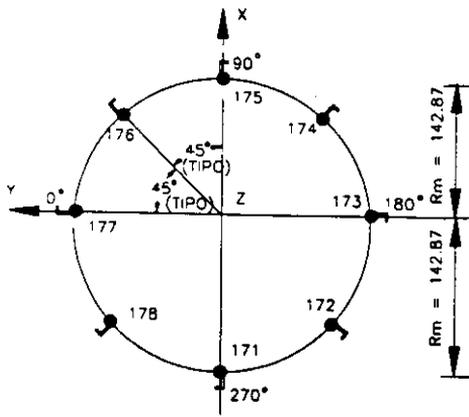
SECCION No. 20
ELEV. 2274.5

NOTAS:

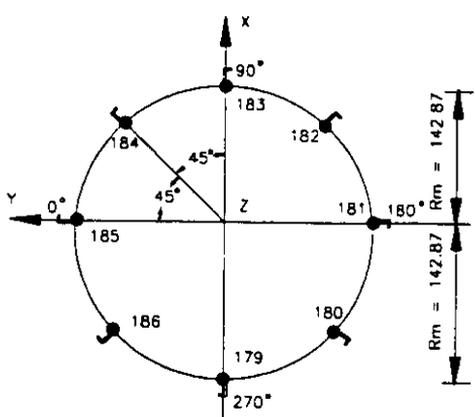
- 1.- EL ESPESOR DE PLACA EN ESTAS SECCIONES ES DE 1.27 cms.
- 3.- LAS ACOTACIONES ESTAN DADAS EN cms.
- 4.- Rm = RADIO MEDIO.

fig. 5.2c

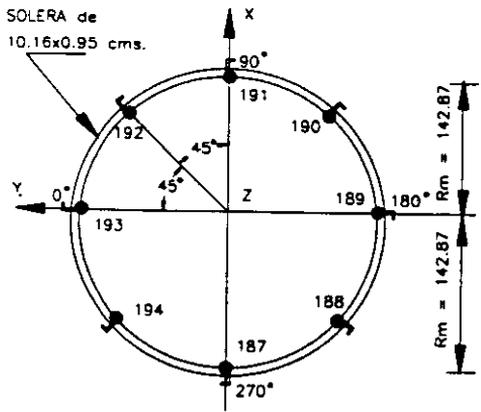
	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON
	ANALISIS SISMICO ESTATICO Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA CHIMENEA METALICA A PISO AUTOSOPORTADA
	TESIS PROFESIONAL QUE PRESENTA: HAYDOR MORALES GRANADOS PARA OBTENER EL TITULO DE: INGENIERO CIVIL



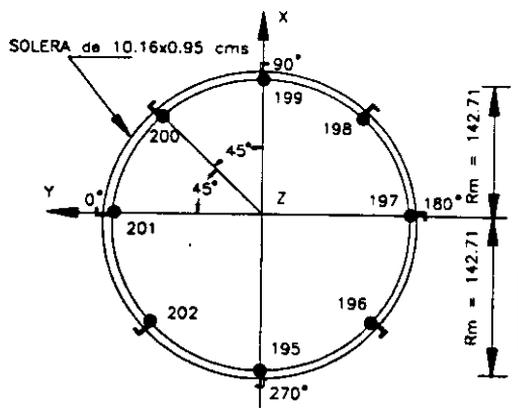
SECCION No. 21
ELEV. 2426.5



SECCION No. 22
ELEV. 2597.5



SECCION No. 23
ELEV. 2609.5



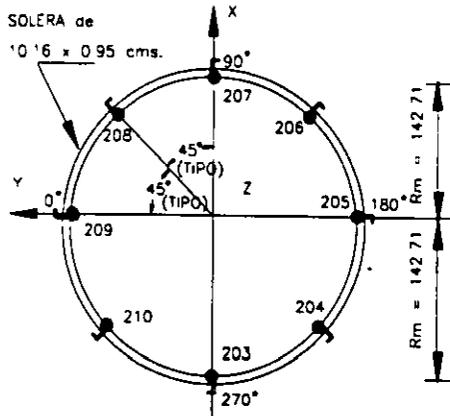
SECCION No. 24
ELEV. 2712.5

NOTAS:

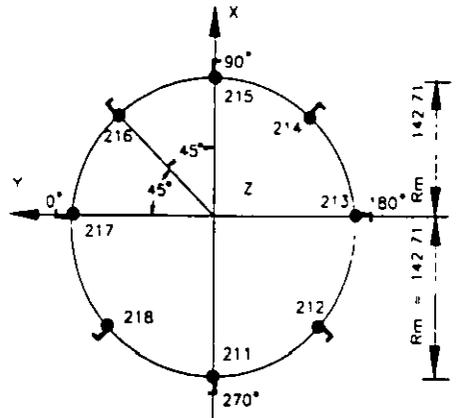
- 1.- EL ESPESOR DE PLACA EN LAS SECCIONES 21, 22 y 23 ES DE 1.27 cms.
- 2.- EL ESPESOR DE PLACA EN LA SECCION 24 ES DE 0.952 cms.
- 3.- LAS ACOTACIONES ESTAN DADAS EN cms.
- 4.- Rm = RADIO MEDIO.

fig. 5.2c

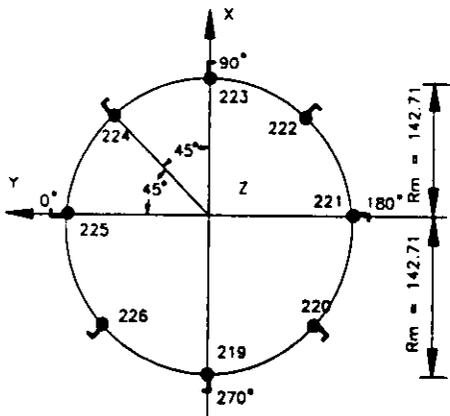
	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGÓN
	ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA CHIMENEA METÁLICA A PISO AUTOSOPORTADA
	TESIS PROFESIONAL QUE PRESENTA: MADOR MORALES GRANADOS
	PARA OBTENER EL TÍTULO DE: INGENIERO CIVIL



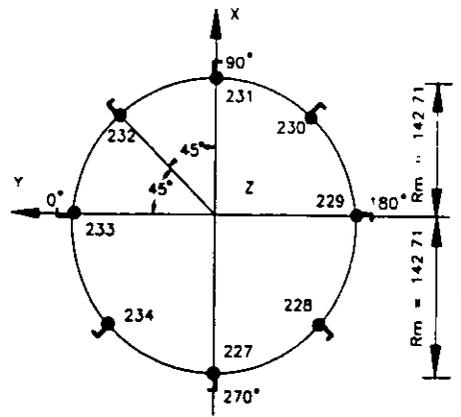
SECCION No. 25
ELEV. 2902.9



SECCION No. 26
ELEV. 3254.5



SECCION No. 27
ELEV. 3447.0



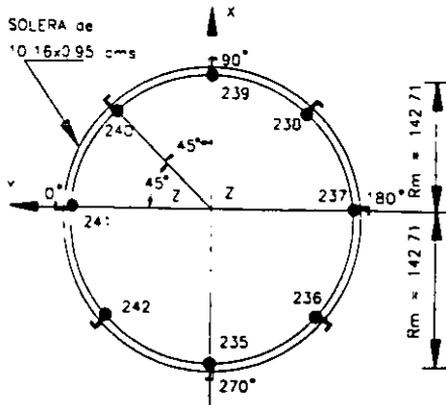
SECCION No. 28
ELEV. 3589.5

NOTAS:

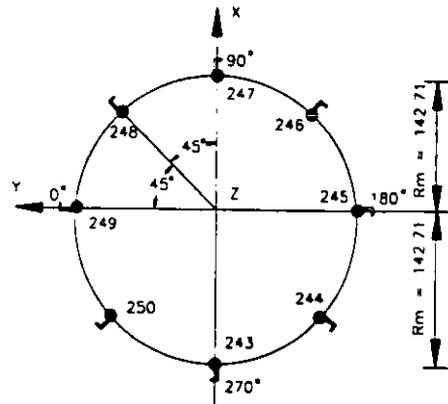
- 1.- EL ESPESOR DE PLACA EN ESTAS SECCIONES ES DE 0.952 cms.
- 2.- LAS ACOTACIONES ESTAN DADAS EN cms.
- 3.- Rm = RADIO MEDIO.

fig. 5.2c

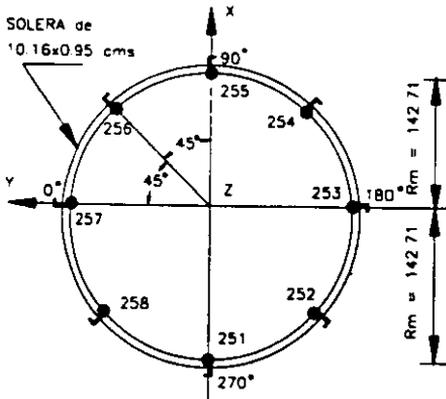
	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARACÓN
	ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA CHIMENEA METÁLICA A PISO AUTOSOPORTADA
	TESIS PROFESIONAL QUE PRESENTA: NABOR MORALES GRANADOS PARA OBTENER EL TÍTULO DE: INGENIERO CIVIL



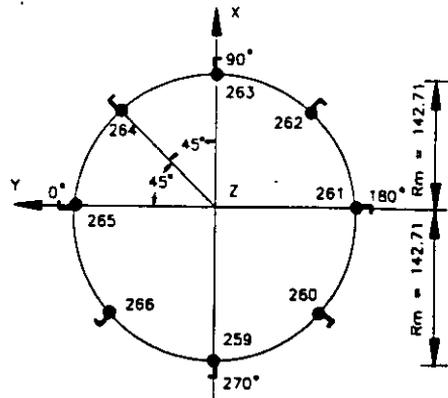
SECCION No. 29
ELEV. 3614.5



SECCION No. 30
ELEV. 3796.0



SECCION No. 31
ELEV. 3949.5



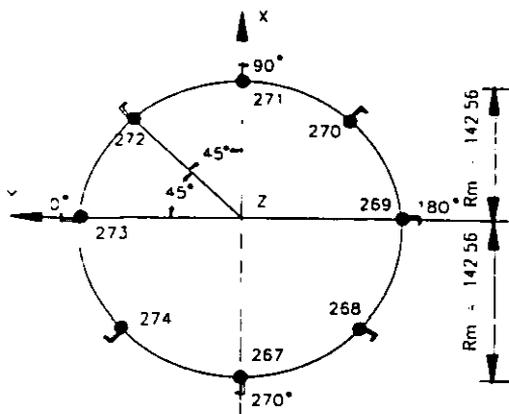
SECCION No. 32
ELEV. 4016.75

NOTAS:

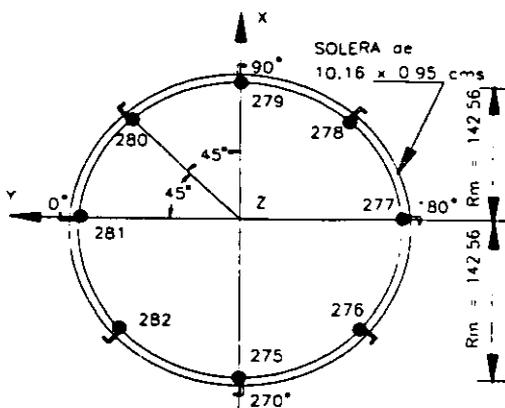
- 1.- EL ESPESOR DE PLACA EN ESTAS SECCIONES ES DE 0.952 cms.
- 2.- LAS ACOTACIONES ESTAN DADAS EN cms.
- 3.- Rm = RADIO MEDIO.

fig. 5.2c

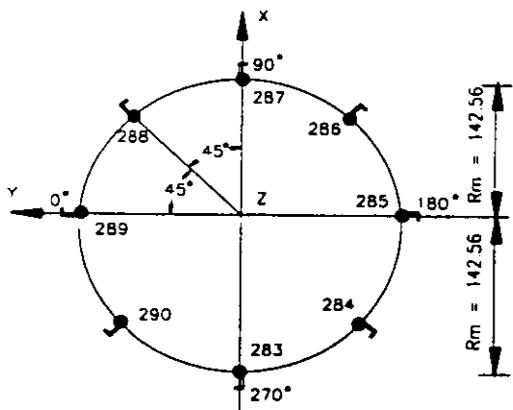
	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARACÓN
	ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA CHIMENEA METÁLICA A PISO AUTOSOPORTADA
	TESIS PROFESIONAL QUE PRESENTA: NABOR MORALES GRANADOS PARA OBTENER EL TÍTULO DE: INGENIERO CIVIL



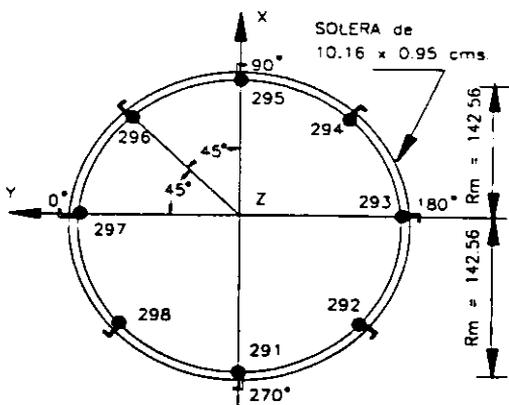
SECCION No. 33
ELEV. 4250.25



SECCION No. 34
ELEV. 4284.5



SECCION No. 35
ELEV. 4483.75



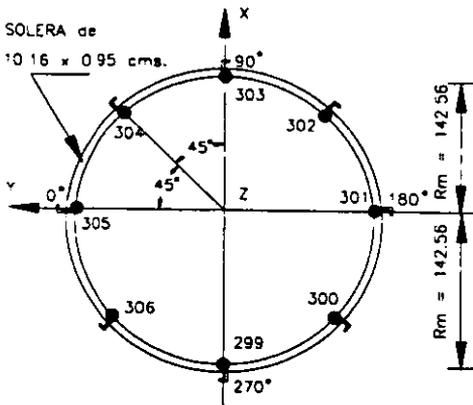
SECCION No. 36
ELEV. 4619.5

NOTAS:

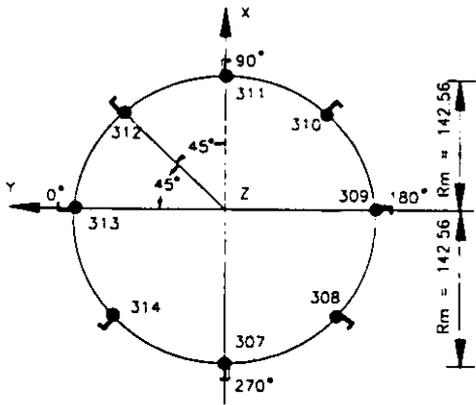
- 1.- EL ESPESOR DE PLACA EN ESTAS SECCIONES ES DE 0.635 cms.
- 2.- LAS ACOTACIONES ESTAN DADAS EN cms.
- 3.- Rm = RADIO MEDIO.

fig. 5.2c

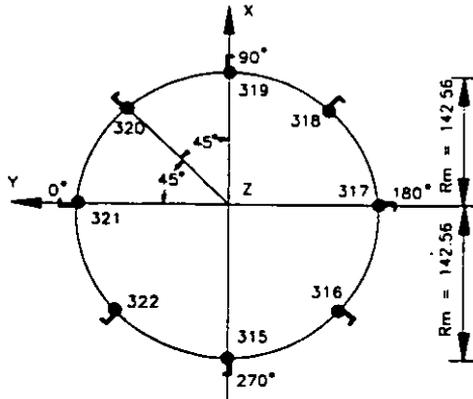
	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON
	ANALISIS SISMICO ESTATICO Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA CHIMENEA METALICA A PISO AUTOSOPORTADA
	TESIS PROFESIONAL QUE PRESENTA: NABOR MORALES GRANADOS
	PARA OBTENER EL TITULO DE: INGENIERO CIVIL



SECCION No. 37
ELEV. 4684.0



SECCION No. 38
ELEV. 4717.25



SECCION No. 39
ELEV. 4834.0

NOTAS:

- 1.- EL ESPESOR DE PLACA EN ESTAS SECCIONES ES DE 0.636 cms.
- 2.- LAS ACOTACIONES ESTAN DADAS EN cms.
- 3.- Rm = RADIO MEDIO.

fig. 5.2c



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON
 ANALISIS SISMICO ESTATICO Y DISEÑO ESTRUCTURAL
 DE UNA CORMENA METALICA A PISO AUTOSOPORTADA
 TESIS PROFESIONAL QUE PRESENTA:
MARJOR MORALES CRANADOS
 PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL

b) Información requerida.

Para realizar el análisis estructural con el programa "ROBOT V6", se requiere tener definida la siguiente información:

- 1.- Un modelo de análisis el cual describa la conectividad de los elementos barra (vigas), así como la indicación de las fuerzas sobre la placa.
- 2.- Un sistema global de coordenadas, de acuerdo a la regla de la mano derecha.
- 3.- El material, las propiedades geométricas y mecánicas de los elementos viga.
- 4.- Orientación de los elementos viga de acuerdo a lo establecido por el estructurista.
- 5.- Los espesores del material y las propiedades mecánicas de las placas.
- 6.- La densidad de los materiales.

Para simplificar en el ingreso de los datos la adición de cargas y masas en la sección del fuste de la chimenea debido a la presencia del material refractario es necesario calcular una densidad equivalente para que el programa considere dentro de la misma placa su contribución; de esta forma se modifica la densidad original de la placa que es de 7850 kg/m^3 pero sin modificar las otras características.

A continuación se muestran las densidades equivalentes aplicadas en el análisis de la chimenea de este trabajo de tesis (de la figura 5.2a).

Para la placa de $3/4''$ 0.00785 Kg/cm^3 en los elementos 1 a 88.

Para la placa de $3/4''$ 0.009971 Kg/cm^3 en los elementos 89 a 96.

Para la placa de $1/2''$ 0.010861 Kg/cm^3 en los elementos 97 a 168.

Para la placa de $3/8''$ 0.11748 Kg/cm^3 en los elementos 169 a 248.

Para la placa de $1/4''$ 0.015877 Kg/cm^3 en los elementos 249 a 304.

NOTA El valor del material refractario se obtuvo de la tabla proporcionada por el fabricante Harbison Walker.

- 7.- La ubicación de las zonas donde se aplican cargas externas (plataformas, ducto).
- 8.- Los diámetros que integran cada sección en la cual se dividió el cuerpo de la chimenea.

5.3 ANÁLISIS ESTRUCTURAL.

El forma mediante la cual se determino la respuesta de la chimenea sometida a las cargas sismicas fue el siguiente.

De los resultados obtenidos en el análisis sísmico se aplicarán 6 casos diferentes de carga los cuales se enumeran a continuación .

- 1 debido a cargas laterales.
- 2 debido al peso propio de la chimenea.
- 3 debido al peso originado por las plataformas.
- 4 debido al efecto provocado por el peso de los ductos.
- 5 dinámico modal el cual es creado automáticamente por el programa.
- 6 debido a una combinación de los casos anteriores.

La combinación de todos los casos anteriores resulta ser el más desfavorable por lo cual se aplicán las fuerzas obtenidas (100% en un sentido y 50% en el otro).

El análisis en computadora con el programa "ROBOT V6" fue alimentado con los siguientes datos.

- Topología de cada sección (nudos, perfiles y coordenadas).
- Propiedades geométricas (espesores de placa, peralte del patín y del alma de cada perfil).
- Cargas en las secciones (uniformemente distribuidas o puntuales).

A continuación se presenta la parte del archivo de texto que contiene los datos de entrada en donde se desglosa las características de los materiales de los elementos que forman a la chimenea:

CARACTERÍSTICAS

"A36"

E=2.1e+006 LX=1.17e-005 RO=0.00785

1A88 EP=1.905

E=2.16e+006 RO=0.009971

89A96 EP=2.03

E=2.016e+006 LX=6.5e-006 RO=0.010861

97A168 EP=1.39

E=2.016e+006 LX=6.5e-006 RO=0.11748

169A248 EP=1.087

E=2.016e+006 LX=6.5e-006 RO=0.015877

249A304 EP=0.76

E=2.1e+006 LX=1.17e-005 RO=0.00785

305A312 321A336 393A400 L 5 x 3 x 0.375 GAMa=90

313A320 347 351 I BB=0 EL=0 BB=12.7 EL=0.9525

337A345 349 353A360 I BB=0 EL=0 BB=12.7 EL=0.9525 GAMa=90

346 350 I BB=0 EL=0 BB=12.7 EL=0.9525 GAMa=45

348 352 I BB=0 EL=0 BB=12.7 EL=0.9525 GAMa=45

361A392 BB=30.48 HH=30.48 EP=1.9

401A429CA4 441A529CA4 478 537A561CA8 643 646 C 6 x 10.5

402 410A554CA36 422 430A538CA36 438 454A562CA36 458 480 C 6 x 10.5 GAMa=45

510 530 546 647 C 6 x 10.5 GAMa=45

403 411A555CA36 423 431A539CA36 439 455A563CA36 459 511 C 6 x 10.5 GAMa=90

531 547 648 C 6 x 10.5 GAMa=90

404A560CA52 412 424A448CA8 460 468A564CA16 492 524 540 C 6 x 10.5 GAMa=135

406 414A498CA28 418A550CA44 426 434 450A558CA36 494 514 C 6 x 10.5

GAMa=225

534 542 566 642 644 C 6 x 10.5 GAMa=225

407 415A499CA28 419A551CA44 427 435 451A559CA36 495 515 C 6 x 10.5

GAMa=270

535 543 567 645 C 6 x 10.5 GAMa=270

408 416 420A452CA8 464A536CA24 472A568CA24 504 528 552 C 6 x 10.5 GAMa=315

433 437 476 533A565CA8 C 6 x 10.5 GAMa=180

474 475 C 6 x 10.5 GAMa=-22.5

479 C 6 x 10.5 GAMa=22.5

556 C 6 x 10.5 GAMa=-45

569A640 I BB=0 EL=0 BB=10.16 EL=0.95

641 C 6 x 10.5 GAMa=30

Donde el término "E" se refiere al módulo de elasticidad del material, el cual es afectado por las condiciones de temperatura de diseño que es igual a 93° C, provocando un ligera disminución de 2.1×10^6 a 2.016×10^6 kg/cm².

El parámetro "RO" se refiere a la densidad del material en kg/cm^3 que debe ser calculado previamente de acuerdo al tipo de material refractario y la placa en la cual se considerará. Los números que aparecen debajo del modulo de elasticidad y la densidad corresponden a los elementos que tienen éstas características, delante de los elementos aparece el término "EP" que corresponde al espesor de la placa dado en cm. En caso de no reportar un nuevo módulo de elasticidad o densidad, el programa toma el mismo valor para los elementos que se encuentren enlistados por debajo del último reportado. Dentro de la definición de los elementos "barra" se reporta también el tipo de perfil y el ángulo de rotación en sus ejes locales con respecto a los ejes globales con el término "GAMa". Este ángulo es muy importante definirlo, ya que de ello depende que los momentos de inercia de las diferentes secciones trabajen en la dirección correcta, dado que el programa coloca los perfiles siempre en un ángulo de 0° con respecto al sistema de ejes globales.

Las masas que el Robot V6 considera para el análisis modal de la estructura son aquellas que se ven involucradas directamente con los elementos que la conforman; para incluir las masas debidas a las plataformas para que sean consideradas en la obtención del periodo natural de vibración se requiere no sólo ingresarlos como cargas, sino que también hay que ingresar el mismo valor pero como masa adicional, para lo cual el programa tiene una opción en el menú. De esta manera, las cargas de las plataformas se distribuyen en los nudos de acuerdo a las condiciones de carga del archivo de datos de entrada, a continuación se presenta la parte concerniente del archivo con los datos de entrada:

PESO DE PLATAFORMAS

243A250 FZ =-609.75

159 199 215 FZ =-409

109A112 FZ =-673

DUCTOS

107A109 113A115 119 120 124 125 129A131 135A137 FZ=-291.93

La razón por la cual las masas adicionales se reportan en el eje FZ es para hacer saber al programa el eje coordenado de la estructura sobre el cual se está ejerciendo un peso. Los números al inicio de cada renglón se refieren a los nudos en que están siendo aplicadas las masas concentradas.

En el mismo archivo es posible ver las combinaciones de los diferentes casos de carga que se realizan para poder definir por separado el análisis gravitacional y el análisis de sísmico. A continuación se presenta el segmento correspondiente de los datos de entrada:

CASo # 1 CARGAS LATERALES

9A16 FX=5 FY=2.5
17A24 FX=15 FY=7.5
25A32 FX=26 FY=13
49A56 FX=36 FY=18
65A72 FX=46 FY=23
73A80 FX=54 FY=27
105A116 FX=58 FY=29
117A126 FX=34 FY=17
139A146 FX=93 FY=46.5
155A162 FX=130 FY=65
171A178 FX=66 FY=33
187A194 FX=76 FY=38
195A202 FX=48 FY=24
203A210 FX=136 FY=68
211A218 FX=222 FY=111
235A242 FX=146 FY=73
243A250 FX=432 FY=216
259A266 FX=170 FY=85
275A282 FX=142 FY=71
283A290 FX=150 FY=75
307A314 FX=583 FY=291.5

CASo # 2 PESO PROPIO

PESo propio
1A640 PZ MENos

CASo # 3 PESO DE PLATAFORMAS

243A250 FZ=-609.75
159 199 215 FZ=-409
109A112 FZ=-673

ANALisis DINámico MODos=1 TOLerancia=1e-004 MAXiter=40 MASas CONcentradas ROTativas

METodo LANczos VERificación INActivo

CASo # 4 MODAL

ANALisis LINEal

CASo # 5 DUCTOS

107A109 113A115 119 120 124 125 129A131 135A137 FZ=-291.93

COMbinación # 6 COMBINACION 1

1 1 2 1 3 1 5 1

5.4 EVALUACIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

El estudio cuidadoso de los resultados obtenidos al realizar análisis aplicando programas de computo revela que la composición de un sistema estructural está llena de detalles concernientes a los miembros individuales y su conexión.

El procedimiento de diseño sísmico aplicando el programa "ROBOT V6" arrojó los resultados mostrados en las siguientes tablas.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UNA CHIMENEA
DE SECCIÓN VARIABLE
CON DIFERENTES ESPESORES DE PLACA.

INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO
SALINA CRUZ OAXACA

DESPLAZAMIENTOS OBTENIDOS AL APLICAR EL PROGRAMA "ROBOT
V6".

CHIMENEA DE 4834 cms. DE ALTURA.

No. DE NUDOS	No. DE PLACAS	No. DE COND. DE CARGA	MIEMBROS CON SECCIÓN VARIABLE
322	304	6	SI
FUERZAS EN LAS SECCIONES	EFFECTOS DE TEMPERATURA	COMBINACIÓN DE CARGA	SI
SI	SI		

ANÁLISIS ESTRUCTURAL CON EL PROGRAMA "ROBOT V6".

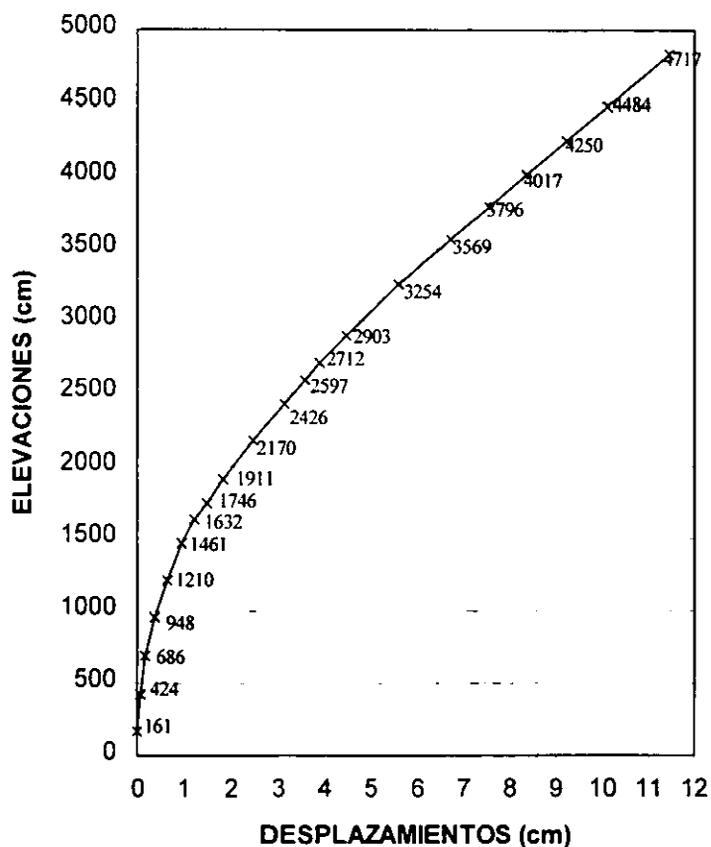
En la tabla 5.4a; se presenta la elevación de cada uno de los nudos sobre los cuales se aplicó la carga obtenida en el análisis sísmico y el desplazamiento provocado en estos, los cuales representan al originado en la dovela donde se localizan por ser los desplazamientos más críticos.

Elevaciones (cm)	Nudo (número)	Desplazamiento (cm)
161.56	9	0.01513
423.68	17	0.06813
685.8	25	0.1827
947.92	49	0.3672
1210.04	65	0.63032
1460.92	81	0.95493
1632	105	1.21616
1746	117	1.44652
1911.26	139	1.84198
2170.5	155	2.4869
2426.5	171	3.12905
2597.5	179	3.58341
2712.5	195	3.90663
2902.9	203	4.47232
3254.5	211	5.61851
3569.5	227	6.7215
3796.0	243	7.54504
4016.75	259	8.36086
4250.25	267	9.23805
4483.75	283	10.12387
4717.25	307	11.01858

Tabla 5.4a.

Los desplazamientos obtenidos en cada una de las elevaciones a las cuales se encuentran las dovelas se muestran en la gráfica 5.4.1.

PERFIL DE DESPLAZAMIENTOS



Gráfica 5.4.1.

En la tabla 5.4b; se muestra el resultado obtenido en el programa, del análisis modal de la chimenea donde se indica el periodo fundamental, el cual como se observa es menor que el valor del periodo característico que delimita a la meseta de la zona donde se encuentra la estructura en estudio, en la tabla 5.4c se muestran las reacciones provocadas en la estructura por las acciones a las cuales se encuentra sometida y en las tablas 5.4d, e, f, se muestran los esfuerzos máximos a los que se encuentran sometidos los elementos placa.

Tabla de resultados del analisis dinamico-modal.

Caso	Modo	Periodo (seg)
6	1	5.88E-01

Tabla 5.4b.

Resultado de las reacciones para el caso más crítico sobre la chimenea en análisis.

Caso	Nudo	FX (kG)	FY (kG)	FZ (kG)	MX (kG-cm)	MY (kG-cm)	MZ (kG-cm)
Caso número 6		COMBINACION 1					
TOTAL MAX		4366.59	6442.26	102270.79	785121.15	809712.92	41013.94

Tabla 5.4c.

Donde:

FX es el esfuerzo producido en el eje X.

MX es el momento producido en el eje X.

FY es el esfuerzo producido en el eje Y.

MY es el momento producido en el eje Y.

FZ es el esfuerzo producido en el eje Z.

MZ es el momento producido en el eje Z.

Resultado del esfuerzo actuante en el centro del elemento.

Caso número	Elem.	sXX	sYY	sXY	MXX	MYY	MXY	tXX	tYY	QXX	QYY
COMBINACION I		(kG/cm ³)	(kG/cm ³)	(kG/cm ³)	(kG-cm)	(kG-cm)	(kG-cm)	(kG/cm ²)	(kG/cm ²)	(kG/cm)	(kG/cm)
placa 1/2"											
6	97	-51.9101	-486.6627	-37.997	1.35	-0.67	-1.39	0.0219	0.0127	0.03	0.02

Tabla 5.4d

Resultado del esfuerzo actuante en el centro del elemento.

Caso número	Elem.	sXX	sYY	sXY	MXX	MYY	MXY	tXX	tYY	QXX	QYY
COMBINACION I		(kG/cm ³)	(kG/cm ³)	(kG/cm ³)	(kG-cm)	(kG-cm)	(kG-cm)	(kG/cm ²)	(kG/cm ²)	(kG/cm)	(kG/cm)
placa 3/8"											
6	177	-16.9069	-373.803	3.6038	-1.08	-0.49	-0.26	0.0641	0.0007	0.06	0

Tabla 5.4e

Resultado del esfuerzo actuante en el centro del elemento.											
Caso número	Elem.	sXX	sYY	sXY	MXX	MYY	MXY	tXX	tYY	QXX	QYY
		(kG/cm ³)	(kG/cm ³)	(kG/cm ³)	(kG-cm)	(kG-cm)	(kG-cm)	(kG/cm ²)	(kG/cm ²)	(kG/cm)	(kG/cm)
placa 1/4"											
6	249	1.2625	-79.1118	-2.0191	0.02	0.02	0	0.0004	0	0	0

Tabla 5.4f

Donde:

- QXX es la fuerza cortante resultante en el eje XX.
- QYY es la fuerza cortante resultante en el eje YY.
- sXX es el módulo de sección en el eje XX.
- sYY es el módulo de sección en el eje YY.
- sXY es el módulo de sección en el eje XY
- MXX es el momento flexionante en el eje XX.
- MYY es el momento flexionante en el eje YY.
- MXY es el momento flexionante en el eje XY.
- tXX es la tensión provocada en el eje XX.
- tYY es la tensión provocada en el eje YY.

CAPITULO 6

DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA CHIMENEA.

El propósito fundamental en el diseño estructural es el de lograr una estructura económica y segura que cumpla con ciertos requisitos funcionales. Para alcanzar esta meta se debe tener un conocimiento completo de las propiedades de los materiales, del comportamiento estructural y de la relación que existe entre la distribución y la función de una estructura, de la mecánica y el análisis estructural.

El comportamiento estructural de la chimenea es muy parecido al de una viga en voladizo, por lo que es necesario considerar el comportamiento que presentan estas estructuras.

Al considerar a la chimenea como una viga se puede hacer la comparación con una barra de eje recto sometida a la acción de fuerzas transversales, en las cuales la capacidad para resistir cargas y transmitir las a sus apoyos proviene principalmente de su resistencia a la flexión, en la mayoría de los casos estas fuerzas actuantes presentan también cortante, pero este suele tener una influencia secundaria.

El diseño de una viga, lo mismo que el de otro elemento estructural cualquiera, consiste fundamentalmente en determinar su resistencia y compararla con las sollicitaciones que obrarán sobre ella durante su vida útil, para saber si es capaz de soportarlas con un coeficiente de seguridad adecuado.

6.1 REVISIÓN DE LOS ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO.

Se considerará como estado límite de servicio a la ocurrencia de deformaciones, agrietamientos, vibraciones o daños que afecten el correcto funcionamiento de la chimenea, pero que no perjudiquen su capacidad de soportar cargas.

6.1.1 EVALUACIÓN DE LOS DESPLAZAMIENTOS.

El daño producido por el sismo, tanto estructural como no estructural, es principalmente ocasionado por las deformaciones laterales en la chimenea, por lo que un adecuado control del daño requiere de una buena estimación de las demandas de deformación lateral en la estructura.

El desplazamiento real es el resultado de multiplicar el desplazamiento obtenido del análisis por el factor de comportamiento sísmico afectado por el factor de irregularidad.

$$\Delta_{ACT} = \Delta_{NUDO} \times 2.4$$

Donde:

Δ_{NUDO} es el desplazamiento de cada uno de los nudos considerados al aplicar la carga en cada uno de los niveles.

El desplazamiento permisible es

Siendo: H la altura total de la chimenea

$$\Delta_{PERM} = 0.006 \times H$$

$$\Delta_{PERM} = 0.006 \times 4834 \text{ cm} = 29.0 \text{ cm}$$

La tabla 6.1.1a muestra los desplazamientos obtenidos en cada una de las dovelas.

DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA CHIMENEA.

NUDO	CASO	Δ_{ACT} (cm)	Δ_{PERM} (cm)	COMENTARIOS
9	6	0.039	0.969	BIEN
17	6	0.164	2.542	BIEN
25	6	0.438	4.1148	BIEN
49	6	0.881	5.6875	BIEN
65	6	1.525	7.260	BIEN
81	6	2.309	8.765	BIEN
105	6	2.995	9.792	BIEN
117	6	3.626	10.476	BIEN
139	6	4.425	11.467	BIEN
155	6	5.969	13.023	BIEN
171	6	7.510	14.559	BIEN
179	6	8.600	15.585	BIEN
195	6	9.376	16.275	BIEN
203	6	10.734	17.417	BIEN
211	6	13.484	19.527	BIEN
227	6	16.137	21.417	BIEN
243	6	18.111	22.776	BIEN
259	6	20.066	24.101	BIEN
267	6	22.171	25.502	BIEN
283	6	24.302	26.903	BIEN
307	6	27.508	28.304	BIEN

Tabla 6.1.1a.

6.2 REVISIÓN DE LOS ESTADOS LÍMITE DE FALLA.

Se considerará como estado límite de falla a cualquier situación que corresponda al agotamiento de la capacidad de carga de la chimenea o al hecho de que ocurran daños irreversibles que afecten significativamente la resistencia ante nuevas aplicaciones de carga.

6.2.1 CÁLCULO DE ESPESORES DE PLACA.

Al estar sujeta la chimenea a cargas sísmicas se originan esfuerzos de diferentes intensidades. El tipo e intensidad de los esfuerzos es una función de la naturaleza de las cargas, de la geometría del fuste y de su construcción.

Los esfuerzos originados por las cargas sísmicas son de dos tipos, las de tensión denotadas con signo positivo y las de compresión denotadas por signo negativo.

Para el cálculo de la placa en el fuste de la chimenea se verifica que los esfuerzos actuantes en los cambios de los espesores de la placa no sean mayores a los esfuerzos permisibles.

De la figura 5.2a considerando los datos del elemento 97 que se muestran en la tabla 5.4d por ser el más crítico.

Para la placa de $1/2''$.

Aplicando

$$f_b = S_{YY} \pm \frac{6M_{YY}}{t^2}$$

Donde:

f_b = Esfuerzo a flexión actuante.

S_{YY} = Modulo de sección en el eje YY.

M_{YY} = Momento flexionante en el eje YY.

t = Espesor de placa en la sección.

Desarrollando

$$f_b = -486.9927 \pm \frac{6(-0.67)}{(127)^2} = -489.155 \text{ Kg/cm}^2$$

De la figura 5.2a considerando los datos del elemento 177 que se muestran en la tabla 5.4e por ser el más crítico.

Para la placa de $\frac{3}{8}$ ".

Desarrollando

$$f_b = -373.803 \pm \frac{6(-.049)}{(0.9525)^2} = -377.04 \text{ Kg/cm}^2$$

De la figura 5.2a considerando los datos del elemento 249 que se muestran en la tabla 5.4f por ser el más crítico.

Para la placa de $\frac{1}{4}$ ".

Desarrollando

$$f_b = -79.1118 \pm \frac{6(0.02)}{(0.635)^2} = -79.41 \text{ Kg/cm}^2$$

El esfuerzo permisible a flexión F_b es igual a 1518 Kg/cm².

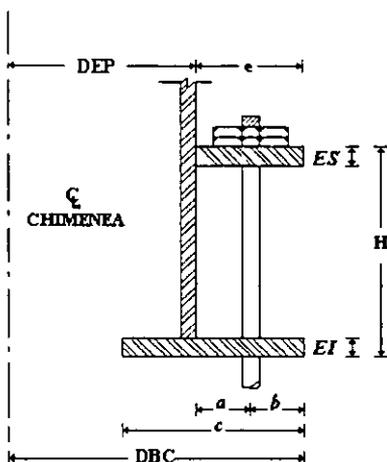
De los resultados anteriores se observa que los valores de los esfuerzos actuantes no exceden al valor del esfuerzo permisible, por lo que se concluye que los espesores de placa propuestos son adecuados.

6.2.2 DETERMINACIÓN DE LOS ELEMENTOS EN LA BASE.

Para su determinación es necesario realizar las siguientes consideraciones:

La superficie de asiento del anillo de la base debe ser suficientemente grande para que la carga se distribuya uniformemente en la cimentación de concreto y no se rebase así la capacidad de carga de ésta.

El espesor del anillo de la base debe resistir el esfuerzo flexionante inducido por el sismo.



Donde:

$$DCA = \text{Diámetro del círculo de anclaje} \left[DEP + \left(\frac{e}{2} \right) \right].$$

DT = Diámetro del perno.

NT = Número de pernos.

M = Momento actuante en la base de la chimenea (de la tabla 5.4c).

Wt = Peso total de la chimenea (de la tabla 4.2a).

DEP = Diámetro externo a placa.

Calculando la tensión total en cada perno.

$$f_{ut} = \frac{\left[\frac{48 * M}{DCA} \right] - [Wt]}{NT}$$

Donde:

$$DCA = 434.97 \text{ cm.}$$

$$DT = 5.72 \text{ cm.}$$

$$NT = 20 \text{ pzas.}$$

$$M = 785121.15 \text{ Kg-cm (de la tabla 5.4c).}$$

$$Wt = 77382 \text{ Kg.}$$

$$DEP = 426.71 \text{ cm.}$$

Desarrollando

$$f_{ut} = \frac{\left[\frac{48 * 785121.15 \text{ Kg-cm}}{434.97 \text{ cm}} \right] - [77382]}{20}$$

$$f_{ACT} = 463 \text{ Kg/cm}^2$$

El tornillo A-307 tiene un esfuerzo permisible a tensión (SB) de 1400 Kg/cm².

$$\text{como } f_{ACT} < F_{PERM}$$

∴ BIEN

Se requiere un área de tornillo en la base de

$$B_A = \left[\frac{T C_B}{SB N} \right]$$

$$B_A = \left[\frac{463 \text{ Kg/cm}^2 * 1366 \text{ cm}^2}{1400 \text{ Kg/cm}^2 * 20} \right]$$

$$B_A = 22.58 \text{ cm}^2$$

$$ATP = 25.70 \text{ cm}^2$$

Donde:

B_A = Área del perno en la base.

SB = Máx. esf. permisible a tensión para cada perno.

f_{ACT} = Tensión total en cada perno.

ATP = Área efectiva del tornillo.

como $AB < ATP$

∴ BIEN

Revisando la presión generada sobre la base de concreto.

$$PB = \left[\frac{48 * M}{\pi * DEP^2 * c} \right] + \left[\frac{Wt}{\pi * DEP * c} \right]$$

$f_c = 200 \text{ Kg/cm}^2$.

$$PB = \left[\frac{48 * 785121.15}{\pi * 426.71^2 * 14.3} \right] + \left[\frac{77382}{\pi * 426.71 * 14.3} \right]$$

$PB = 8.67 \text{ Kg/cm}^2$.

$Fp = 0.35 * 200 \text{ kg/cm}^2$.

$Fp = 70 \text{ kg/cm}^2$.

Donde:

f_c = Esfuerzo permitido del concreto a la compresión.

PB = Esfuerzo actuante en la base del concreto.

Fp = Esfuerzo resistente en el concreto.

como $PB < Fp$

∴ BIEN

Cálculo de el grosor de la placa inferior.

del plano 3 anexo A

$$t_b = 0.32 * e$$

donde:

$$e = a + b$$

$$e = 6.04 \text{ cm} + 6.72 \text{ cm}$$

$$e = 12.76 \text{ cm.}$$

$$t_b = 0.32 * 12.76$$

$$t_b = 4.08 \text{ cm.}$$

Donde:

t_b = Espesor de la placa base inferior necesaria.

Debido a que se trata de una placa demasiado gruesa, se propone utilizar atiesadores (cartabones) de 1.27 cm., para disminuir el espesor de la placa a 3.81 cm., colocando una placa de igual espesor en la parte superior de los atiesadores para cubrir el espesor requerido.

Para calcular el esfuerzo cortante en un atiesador se toma como criterio que la zona de influencia del atiesador es regida por la variación del ángulo θ el cual en este caso es igual a 90°

determinando la altura del atiesador se realiza

$$\alpha = \text{arc tang} \frac{53.34}{9.855} = 79^\circ.53$$

$$\beta = 180^\circ - (79^\circ.53 + 90^\circ) = 10^\circ.47$$

$$\frac{9.855}{\text{Sen } 10^\circ.47} = \frac{h}{\text{Sen } 79^\circ.53}$$

despejando

$$h = \frac{9.855 \text{ Sen } 79^\circ.53}{\text{Sen } 10^\circ.47}$$

$$\therefore h = 53.33$$

Por lo que

$$h = 53.33 \text{ Sen } 90^\circ = 53.33 \text{ cm.}$$

Calculando la compresión en el atiesador

$$f_a = \frac{77382}{695.02} = 111.34 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F_a = 0.75 * 2530 = 1897.5 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F_a > f_a$$

\therefore BIEN

Cálculo de la separación entre los atiesadores.

$$\text{Considerando } F_v = f_v \quad \text{y} \quad F_v = 0.04 * 2530 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F_v = 1012 \text{ Kg/cm}^2$$

Donde:

F_v - Esfuerzo a cortante permisible.

$$1012 = \frac{2530}{2.89} C_v$$

$$C_v = \frac{1012 * 2.89}{2530} = 1.156$$

$$C_v > 0.8$$

$$C_v = \frac{3160000 * K}{F_y \left(\frac{h}{t}\right)^2}$$

$$0.527 * F_y * \left(\frac{h}{t}\right)^2 = 3160000 * K$$

$$K = \frac{0.527 * 2530 * 225^2}{3160000} = 21.36$$

como $21.36 > 1.0$

$$K = 5.34 + \frac{4}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}$$

$$\left(\frac{a}{h}\right)^2 = \frac{4}{K - 5.34}$$

$$\therefore \frac{a}{h} = \sqrt{\frac{4}{K - 5.34}} = \sqrt{\frac{4}{21.36 - 5.34}} = 0.5$$

despejando $a = 0.5 * 178 = 89 \text{ cm}$.

$\therefore a \leq 89 \text{ cm}$ separación máxima a la que se deben colocar los atiesadores.

La separación a la cual están colocados es

$$l = \frac{r * \alpha * 3.1416}{180} = \frac{217.48 * 18 * 3.1416}{180} = 68 \text{ cm}$$

Como $l < a$

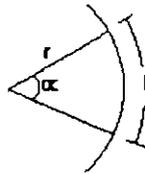
\therefore BIEN

6.2.3 REFUERZO ESTRUCTURAL EN LOS HUECOS PARA CONEXIÓN DE DUCTOS.

En el diseño del refuerzo en los huecos de la chimenea para la colocación de los ductos el requisito básico es que entorno a la abertura, la chimenea debe reforzarse con una cantidad de metal igual a la removida para la abertura.

Determinación del área removida para efecto de la colocación de un ducto.

Del plano 3 anexo "A" se tiene.



Donde:

$r = \text{radio} = 142.25 \text{ cm.}$

$\alpha = \text{ángulo de abertura} = 70^\circ.$

$l = \text{longitud removida.}$

Para conocer la longitud formada por el arco se aplica la siguiente expresión:

$$l = \frac{r * \alpha * 3.1416}{180}$$

Sustituyendo se tiene

$$l = \frac{142.25 * 70 * 3.1416}{180} = 174 \text{ cm.}$$

La altura del ducto es de 242.25 cm.

El área removida es igual a la obtenida por el rectángulo con las dimensiones mostradas en la figura 6.2.3a.

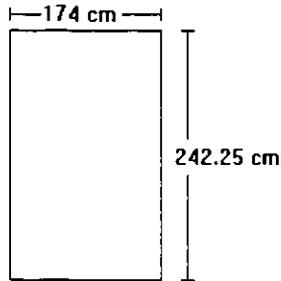


figura 6.2.3a

Área removida

$$174 * 242.25 = 42151.5 \text{ cm}^2.$$

Para reemplazar el área removida se colocaran atiesadores formados por un cajón con las dimensiones mostradas en la figura 6.2.3b.

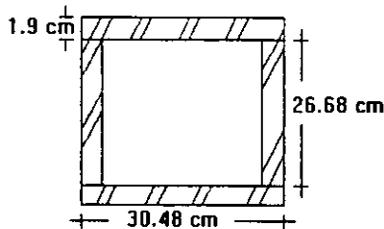


figura 6.2.3b.

La longitud de este perfil es de 300 cm.

Calculando el área de cada una de las secciones que forman al cajón se tiene.

$$30.48 * 300 = 9144 \text{ cm}^2.$$

$$9144 \text{ cm}^2 * 2 = 18288 \text{ cm}^2.$$

$$26.68 * 300 = 8004 \text{ cm}^2.$$

$$8004 \text{ cm}^2 * 2 = 16008 \text{ cm}^2.$$

$$18288 + 16008 \text{ cm}^2 = 34296 \text{ cm}^2.$$

∴ El área total aportada por los dos cajones es:

$$34296 \text{ cm}^2 * 2 = 68592 \text{ cm}^2.$$

Comparando el área removida contra la aportada tenemos:

Área removida	Área aportada
42151.5 cm ²	68592 cm ² .

de donde se concluye que los huecos se encuentran debidamente reforzados.

A continuación se presentan las características geométricas del cajón.

a) Características geométricas.

$$A = 30.48^2 - 26.68^2 = 217 \text{ cm}^2.$$

$$I_x = \frac{30.48^4 - 26.68^4}{12}$$

$$I_x = 29700 \text{ cm}^4.$$

$$s_x = \frac{\sqrt{2}(30.48^4 - 26.68^4)}{12(30.48)}$$

$$s_x = 1378 \text{ cm}^3.$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{29700}{217}}$$

$$r_x = 11.70 \text{ cm}$$

b) Relación $\frac{b}{t}$

$$\frac{b}{t} \leq \frac{2000}{\sqrt{f_y}}$$

sustituyendo

$$\frac{30.48}{1.9} \leq \frac{2000}{\sqrt{2530}}$$

elemento atiesado

$$16.04 \leq 39.76$$

OK

c) Relación de esbeltez

$$\lambda = \frac{Kl}{r} = \frac{1.0 * 300}{11.70} = 25.64$$

Como la relación $\frac{b}{t}$ resulto ser menor que 39.76 se aplicará la siguiente expresión

$$\left(\frac{Kl}{r}\right)_c = \frac{6340}{\sqrt{Q_s Q_u f_y}}$$

para ser comparada contra la relación de esbeltez

Donde:

$Q_s = 1.00$ para un elemento atiesado.

$$Q_u = \frac{A_{efectiva}}{A_{total}} = \frac{A_{total} - \sum (b - b_c) t}{A_{total}} \quad ; (\text{Suma de elementos atiesados})$$

Donde:

$$b_c = \frac{2720t}{\sqrt{f_y}} \left[1 - \frac{540}{b} \frac{1}{\sqrt{f_y}} \right]$$

sustituyendo

$$b_c = \frac{2720 * 1.9}{\sqrt{2530}} \left[1 - \frac{540}{16.04 \sqrt{2530}} \right] = 34 \text{ cm.}$$

$$b_c = 34 > 30.48$$

$$\therefore b_c = 34 \text{ cm.}$$

$$Q_u = \frac{217.21 - 4 * (34 - 30.48) * 1.9}{217.21} = 0.88$$

$$Q_s = 0.88$$

$$\left(\frac{Kl}{r}\right)_c = \frac{6340}{\sqrt{(1.00)(0.88)(2530)}} = 134$$

$$\left(\frac{Kl}{r}\right)_c = 134$$

$$\lambda = 25.64 < 200$$

$$\lambda = 25.64 < \left(\frac{KI}{r}\right)_c = 134, \text{ por lo tanto se aplica}$$

$$F_a = \frac{12}{23} Q_c Q_a \left[1 - \frac{\left(\frac{KI}{r}\right)_c^2}{2\left(\frac{KI}{r}\right)_c^2} \right] f_c, \text{ cuando } \frac{KI}{r} < \left(\frac{KI}{r}\right)_c$$

Donde:

F_a = Esfuerzo a compresión que puede soportar el cajón considerado como una columna.

sustituyendo

$$F_a = \frac{12}{23} (1.00)(0.88) \left[1 - \frac{(25.64)^2}{2(134)^2} \right] 2530 = 1140 \frac{Kg}{cm^2}$$

$$F_a = 1140 \frac{Kg}{cm^2}$$

La carga máxima que este cajón puede soportar es de

$$P_{col} = A * F_a$$

$$P_{col} = 217 \text{ cm}^2 * 1140 \frac{Kg}{cm^2} = 247380 \text{ Kg.}$$

CAPITULO 7

CONCLUSIONES

La función de una chimenea es la de evacuar los gases producto de la combustión.

El diseño de una chimenea presenta una serie de problemas que se relacionan generalmente con su altura y esbeltez.

Una chimenea es una estructura que se mueve con un número infinito de grados de libertad y su solución exacta lleva consigo una cantidad relativamente grande de cálculos matemáticos. es por esto que generalmente se recurre a la hipótesis simplificatoria de considerar que la masa de la chimenea se encuentra concentrada en un número finito de puntos localizados en su eje longitudinal.

En el análisis estático se consideran un conjunto de fuerzas horizontales. actuando sobre cada uno de los puntos donde se consideran concentradas las masas de la estructura.

El considerar que la estructura esta empotrada en su base constituye una condición del lado de la seguridad, ya que el movimiento transmitido a la estructura depende del modo en que la estructura está soportada sobre o en el terreno.

El empleo de modelos inadecuados y la aplicación de programas en forma indiscriminada sin un conocimiento real de sus alcances conduce necesariamente a realizar proyectos incorrectos que pueden generar graves problemas. Por lo tanto un cálculo estructural resultara de buena calidad cuando el modelo que se adopte para el análisis y diseño represente adecuadamente el comportamiento real de la estructura y cuando el ingeniero proyectista tenga bases sólidas en los fundamentos teóricos del análisis y diseño estructural.

CONCLUSIONES.

La zona de Salina Cruz es una zona de gran actividad sísmica y eólica por lo que es necesario tomar previsiones especiales para su análisis y diseño. Sin embargo no es necesario pensar que actúan simultáneamente condiciones máximas de viento y sismo, ya que se ha observado que durante movimientos violentos de la corteza terrestre no han ocurrido vientos fuertes.

El diseño del fuste (cascarón) de una chimenea de acero incluye tres factores principales: fuerzas verticales (peso propio), fuerzas horizontales (sismo) y temperatura.

En el análisis y diseño de chimeneas el proyectista no debe de perder de vista las repercusiones que existen en la respuesta de la estructura ante los eventos sísmicos debidos al empleo de espesores de placa variables.

Los desplazamientos horizontales de la chimenea deben limitarse de tal forma que no alcancen niveles en los que el comportamiento de los materiales deje de ser lineal. Por otra parte también es deseable que las deformaciones sean pequeñas para que no se produzcan grietas grandes en el concreto refractario que propicien que la humedad penetre hasta la placa de acero, provocando corrosión y la consiguiente pérdida de adherencia entre el concreto y el acero.

Un punto muy importante por revisar es el de los estados límite por desplazamiento lateral, el manual de la C.F.E., establece valores que se antojan altos para esta estructura industrial y que inciden en forma importante en el costo de la chimenea. Esto contrasta con los criterios establecidos en los reglamentos americanos en donde no existe límite para las deformaciones laterales producidas por sismo excepto donde existe riesgo de pérdidas humanas.

Por otro lado es casi imposible desligar elementos estructurales en este tipo de estructuras lo cual obliga a emplear el valor menor especificado en nuestro reglamento.

CONCLUSIONES.

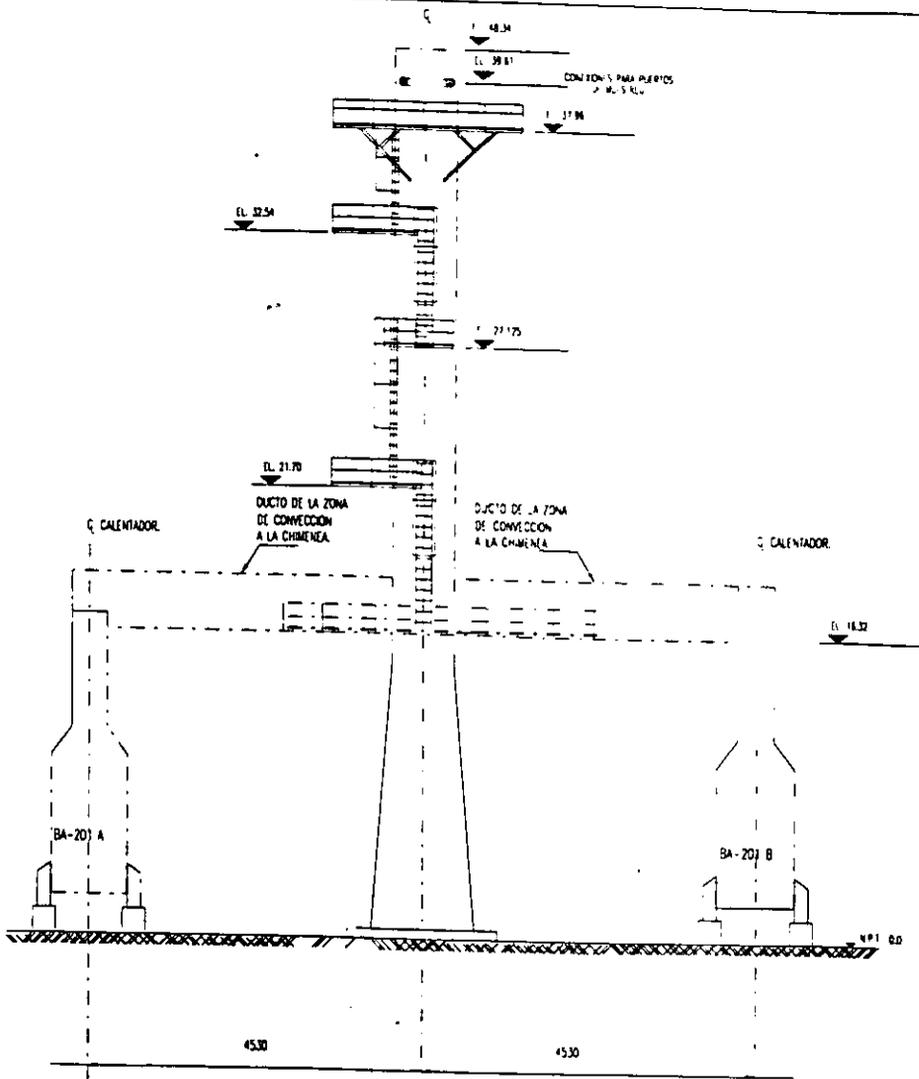
En términos generales es conveniente limitar los desplazamientos de tal manera que no excedan $0.006 \times H$.

Esta tesis como es un trabajo académico, ha pretendido presentar con todo detalle el proceso de análisis y diseño; sin embargo, debe hacerse notar que el trabajo práctico se reduce muy importantemente ya que se emplean elementos y secciones estandarizadas y se aplican programas de computadora que agilizan considerablemente los trabajos de cálculo.

REFERENCIAS

- 1.- El petróleo " 50 aniversario de la expropiación petrolera ".
- 2.- Manual de Diseño de Obras Civiles (MDOC) de la Comisión Federal de Electricidad
Método de análisis y diseño "CHIMENEAS" Edición 1981.
- 3.- " Propiedades dinámicas de chimeneas, resultados analíticos y estudios de campo;
recomendaciones para diseño ". Instituto de investigaciones eléctricas. Caballero, C.E.,
García, F., Cuernavaca, Morelos. 1988.
- 4.- Manual de Diseño de Obras Civiles. (MDOC) de la Comisión Federal de Electricidad
"DISEÑO POR SISMO" Edición 1993.
- 5.- Specification for the design and construction of reinforced concrete chimneys.
American Concrete Institute. ACI 307-88.
- 6.- Vibración Problems in Engineering, John Wiley and Sons, Nueva York.
Timoshenko S. Young D y Weaver W (1974).
- 7.- Apuntes para operadores de plantas TOMO III.
INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO.
Salamanca 10/G1/3.
- 8.- Instituto Mexicano de la Construcción en Acero (IMCA). Edit. Limusa-Noriega Editores
Volumen I México DF. 1990.
- 9.- Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal y sus Normas Técnicas
Complementarias (SISMO) México DF. 1993.
- 10.- Manual de recipientes a presión (Cálculo y diseño) Eugene F. Megyesy Edit. Limusa-
Noriega 1992.
- 11.- Diseño estructural II (Estructuras metálicas) Fernando Tavera M. y Jorge A. Moreno
G. biblioteca Nicolaita de libros de texto. Morelia, Mich., 1990.

ANEXO "A"



ARREGLO GENERAL DE CHIMENEA CON CALENTADORES.

(ELEVACION EN EJE 270)

NOTAS.-

1.- ACOTACIONES EN MILIMETROS.

2.- ELEVACIONES EN MTS.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON.

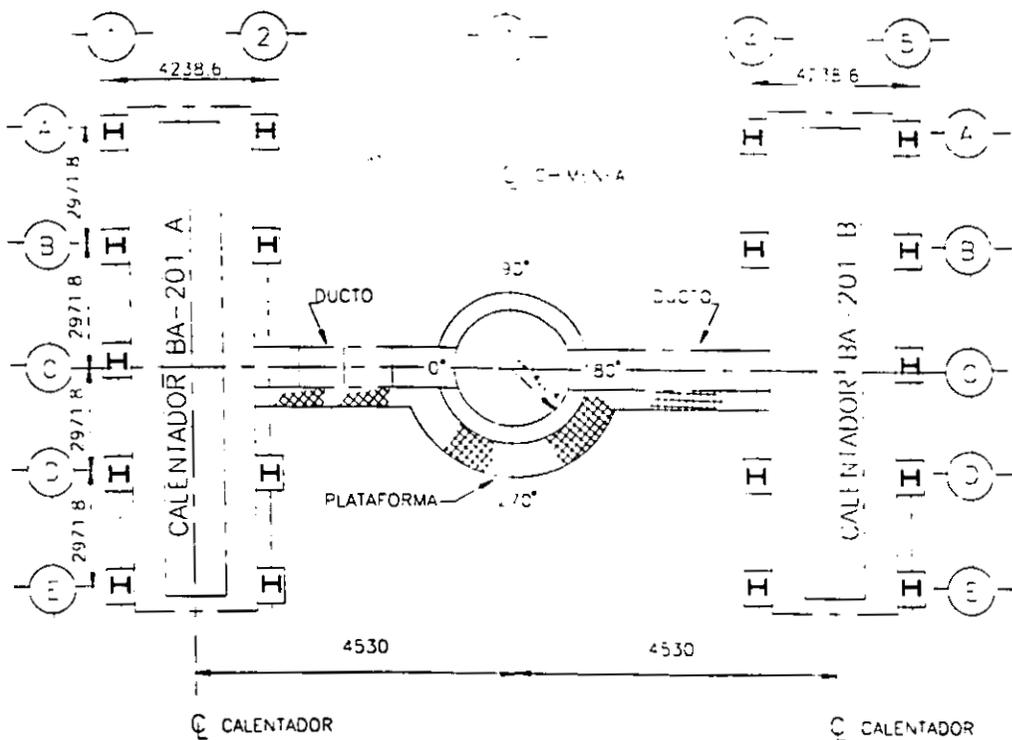
ANALISIS SIMACO ESTADICO Y DISEÑO ESTRUCTURAL
DE UNA CHIMENEA METALICA A PISO AUTOSOPORTADA

TESIS PROFESIONAL QUE PRESENTA:

PARA OBTENER EL TITULO DE:

NABOR MORALES GRANADOS

INGENIERO CIVIL



ARREGLO GENERAL DE CH-VENA CON CALENTADORES.

(PLANTA)

NOTAS.-

- 1.- ACOTACIONES EN MILIMETROS.
- 2.- ELEVACIONES EN MTS.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGÓN

ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO Y DISEÑO ESTRUCTURAL
 DE UNA CHIMENEA METÁLICA A PISO AUTOSOPORTADA

TESIS PROFESIONAL QUE PRESENTA

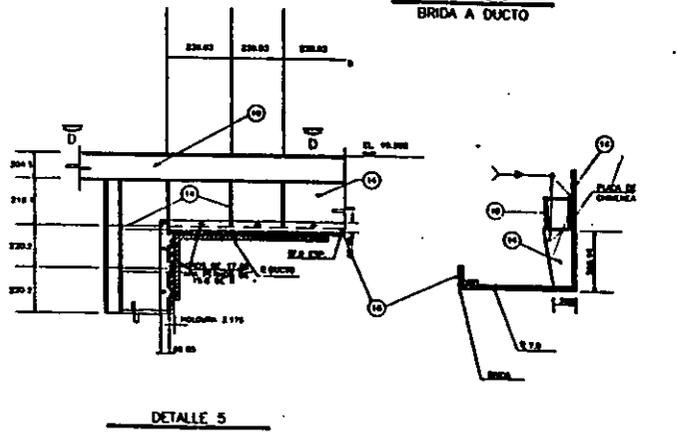
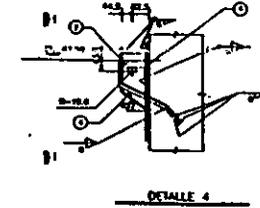
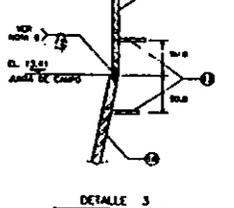
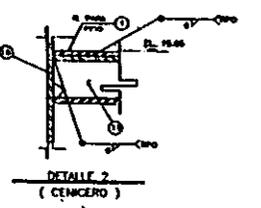
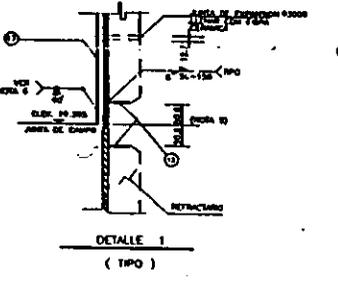
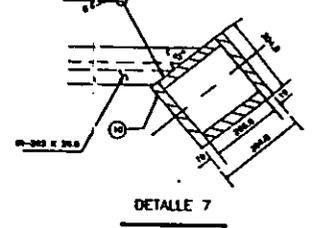
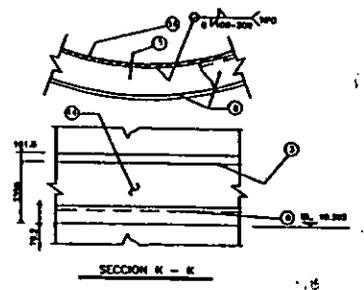
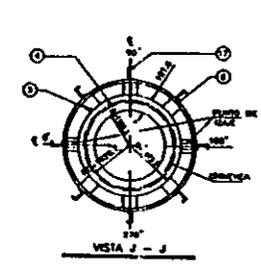
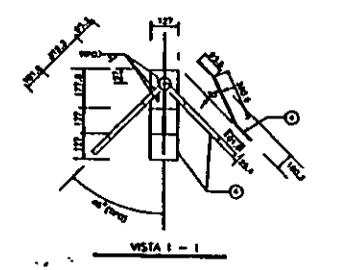
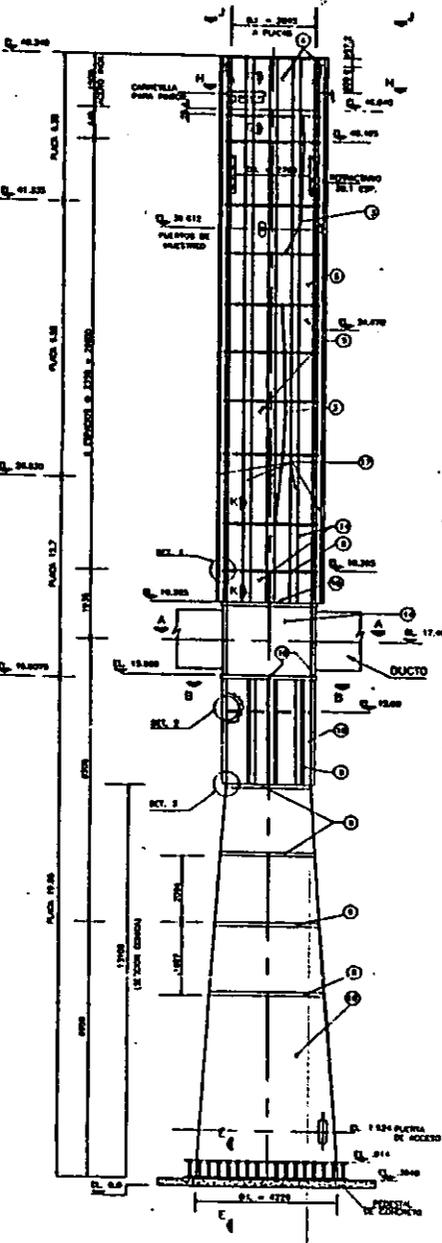
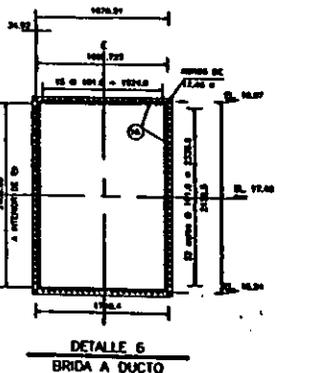
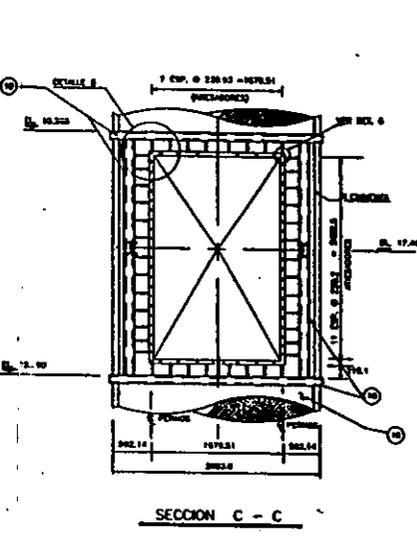
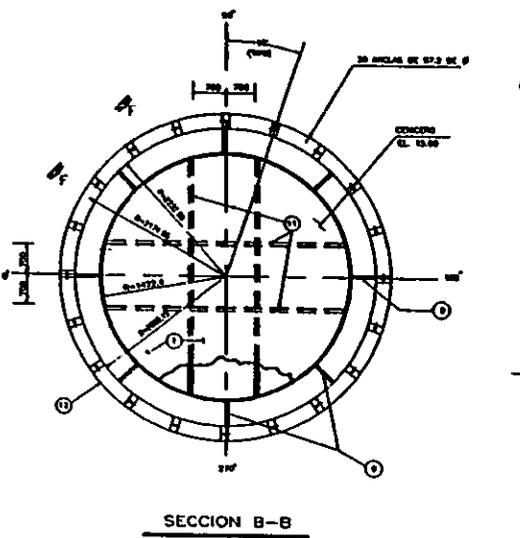
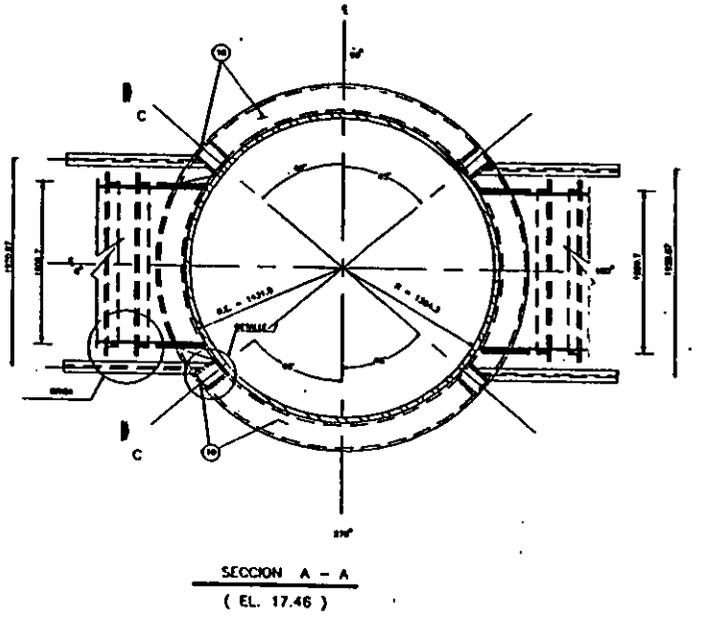
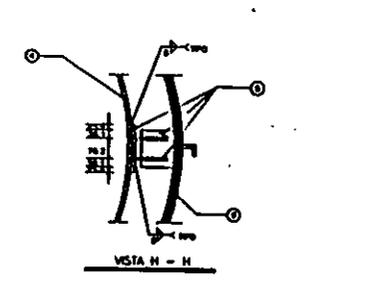
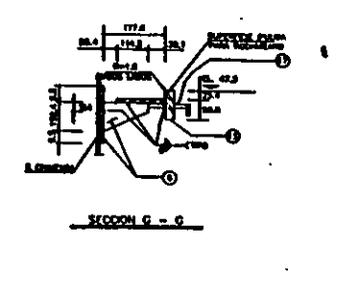
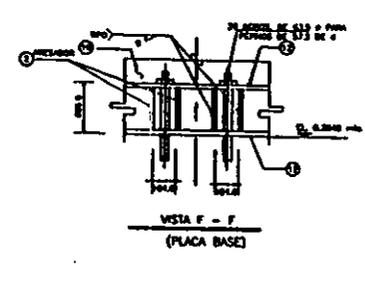
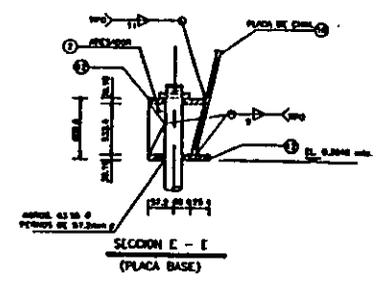
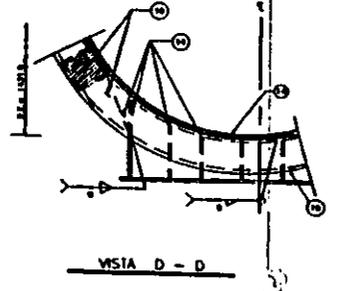
NABOR MORALES GRANADOS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

LISTA DE MATERIALES		
Nº	DESCRIPCION	UNIDAD
1	PLACA DE 8.00 mm DE ESP.	1-30
2	PLACA DE 12.70 mm DE ESP.	1-10
3	SOLERA DE 101 X 52 mm DE ESP.	1-10
4	PLACA DE 10.00 mm DE ESP.	1-10
5	PLACA DE 10.00 mm DE ESP.	1-10
6	PLACA DE 10.00 mm DE ESP.	1-10
7	PLACA DE 10.00 mm DE ESP.	1-10
8	PLACA DE 10.00 mm DE ESP.	1-10
9	PLACA DE 10.00 mm DE ESP.	1-10
10	PLACA DE 10.00 mm DE ESP.	1-10
11	PLACA DE 10.00 mm DE ESP.	1-10
12	PLACA DE 10.00 mm DE ESP.	1-10
13	PLACA DE 10.00 mm DE ESP.	1-10
14	PLACA DE 10.00 mm DE ESP.	1-10
15	SOLERA DE (10.2 X 22) mm	1-10
16	ANGULO DE (43.8 X 6.35) mm	1-10
17	PUNTA C ESTACION 132 X 13.00 mm	1-10
18	PLACA DE 10.00 mm DE ESP.	1-10

- NOTAS:
- 1- ACEROS EN UNIFORME
 - 2- BARRONES EN HCS
 - 3- PUNTA Y/O EN RELACIONADO CON EL IMPACTADO CON PUN. ALTA
 - 4- UNOS BARRONES CORRUGADOS DE ACERO A 60 mm
 - 5- BARRONES CON CUANTOS REFORZADOS PROPORCION LA TA
 - 6- LA PERFORACION DE SOLERA SIN COMPLETA
 - 7- LA DIMENSION SECTA NOMBRADO EN SECCIONES 1433 QUE PERFORAN LA BARRERA DE FUNDACION Y ANCHURA
 - 8- PARA LOCALIZACION DE PLUMBERIA Y PUNTERA EN LA DIMENSION CON SERA DEL ANCHO "C"
 - 9- EN CHIMNEA



"ARREGLO GENERAL Y DETALLES DE LA CHIMNEA"

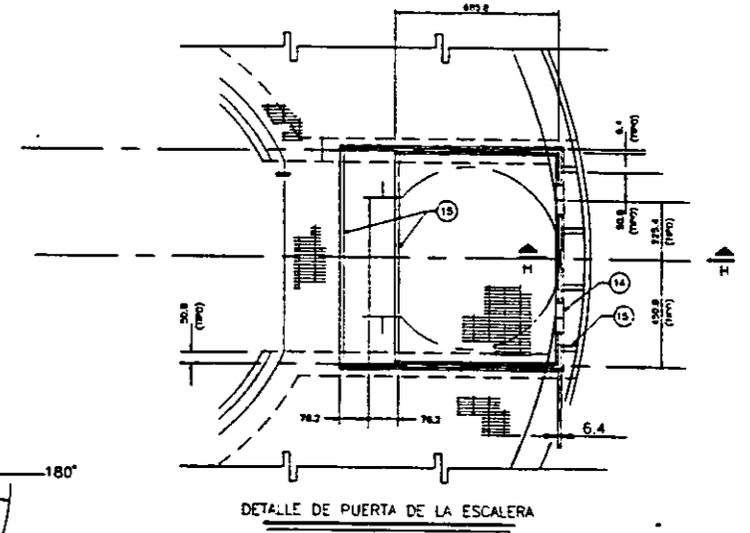
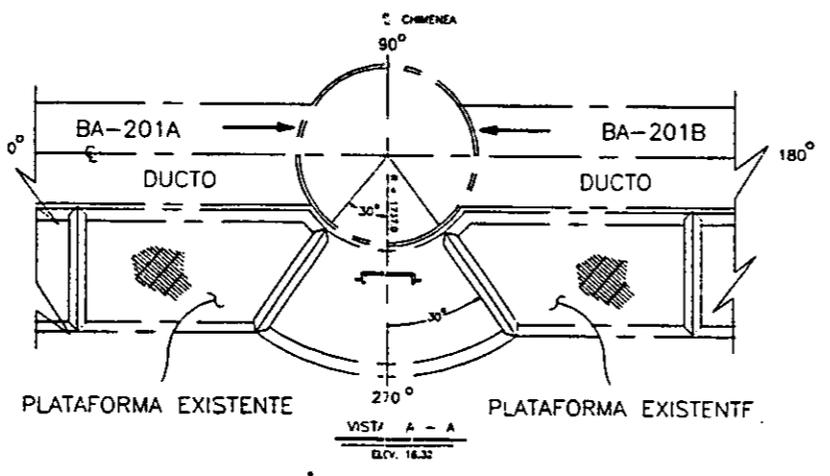
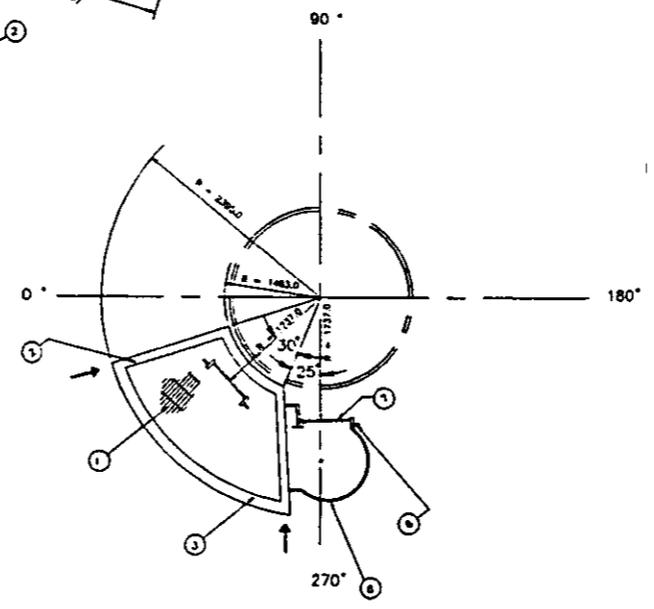
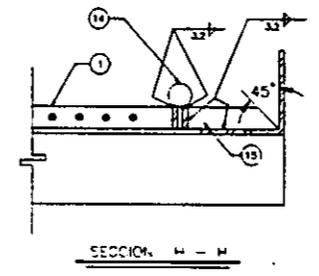
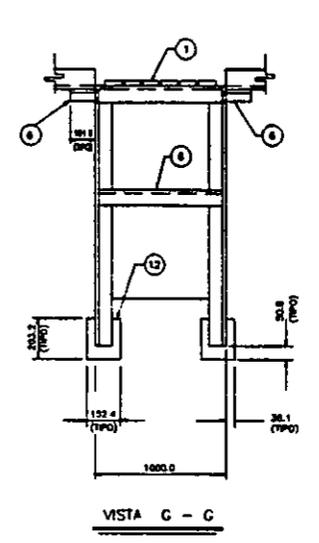
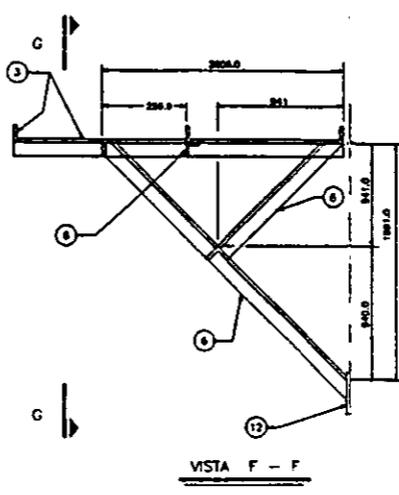
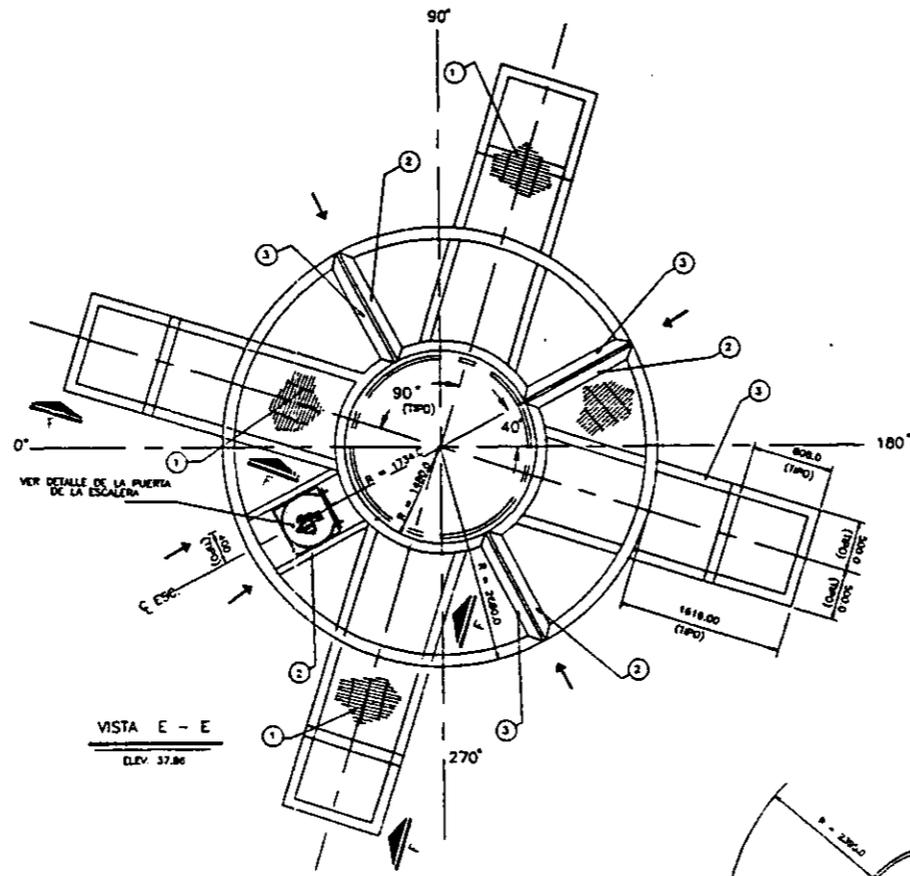
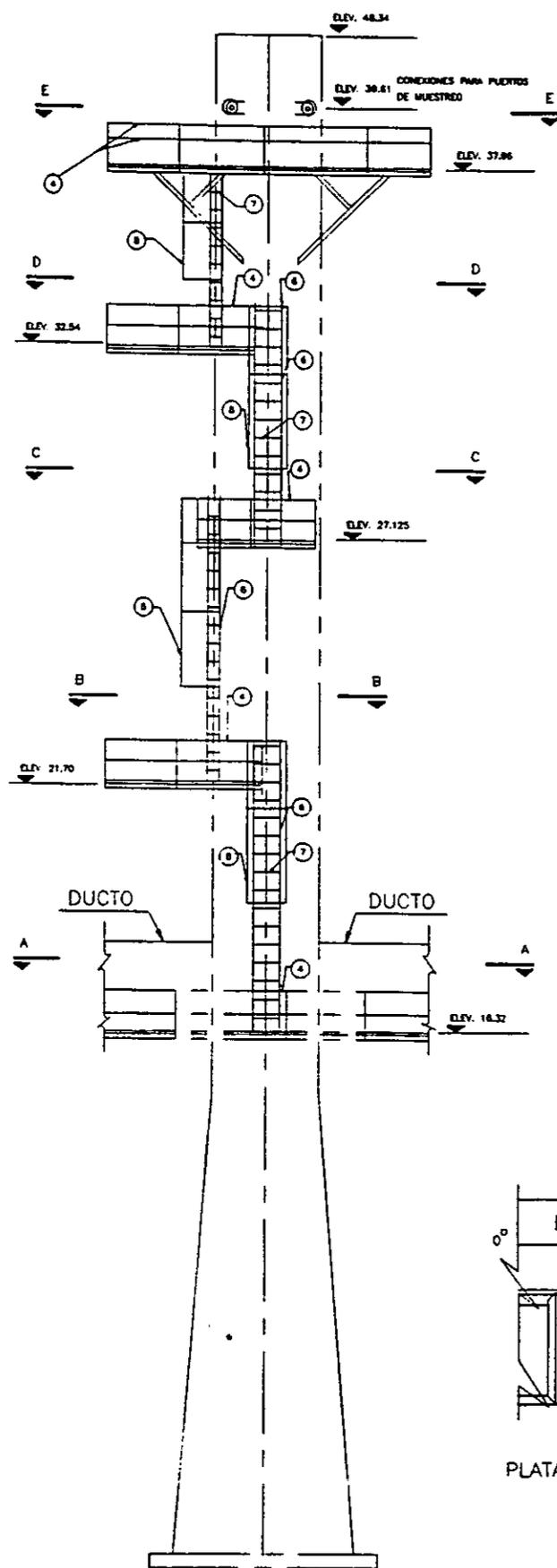
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON
 ANALISIS SIMICO ESTADICO Y DISEÑO ESTRUCTURAL
 DE UNA CHIMNEA METALICA A PISO AUTOSOPORTADA
 TESIS PROFESIONAL QUE PRESENTA:
 HADIR MORALES GRANADOS
 PARA OBTENER EL TITULO DE
 INGENIERO CIVIL

LISTA DE MATERIALES

PART. No.	DESCRIPCION	MATERIA.
1	REJILLA ENDA O SIMILAR 8-34-25.6	A-36
2	CPS DE 203.2 x 17.11 kg/m	A-36
3	APS DE 101.6 x 9.5 DE ESPESOR	A-36
4	APS DE 83.3 x 6.4 DE ESPESOR	A-36
5	SOLETA DE 83.3 x 6.4 DE ESPESOR	A-36
6	APS DE 76.2 x 6.4 DE ESPESOR	A-36
7	BARRA DE 19.0 DE DIAMETRO	A-36
8	SOLETA DE 80.8 x 6.4 DE ESPESOR	A-36
9	TORNILLO CABEZA HEXAGONAL CON TUERCA Y RODAMBA PLANA DE 15.8 DIAM. x 38.1 LONG.	A-307
10	TORNILLO CABEZA HEXAGONAL CON TUERCA Y RODAMBA PLANA DE 12.7 DIAM. x 38.1 LONG.	A-307
11	TORNILLO CABEZA HEXAGONAL CON TUERCA Y RODAMBA PLANA DE 15.8 DIAM. x 38.1 LONG.	A-307
12	PLACA DE 6.4 DE ESPESOR	A-36
13	PLACA DE 9.5 DE ESPESOR	A-36
14	BRISAON	AC.DALY.
15	SOLETA DE 35.4 x 6.4 DE ESPESOR	A-36

NOTAS:

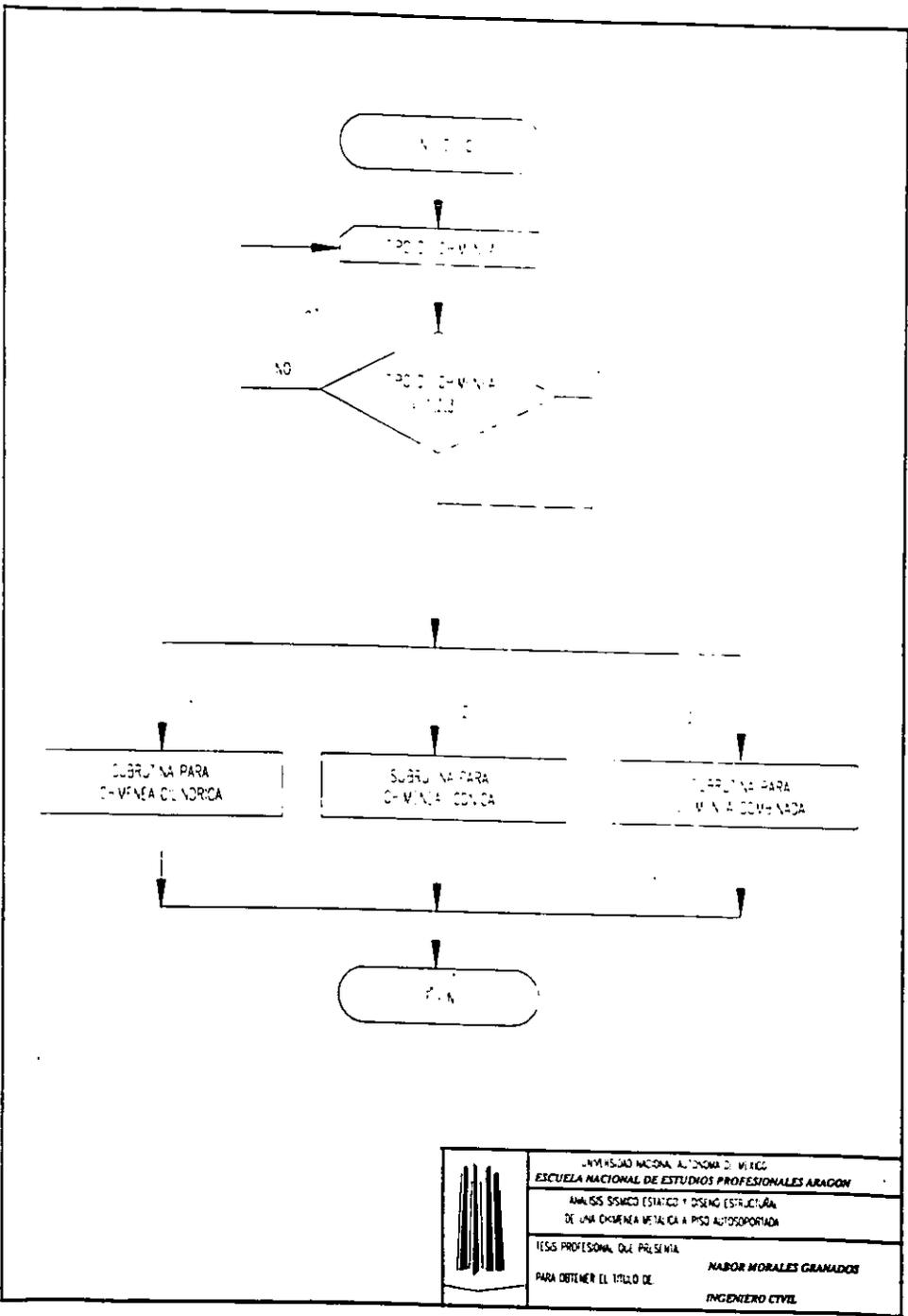
- 1.- ADOTACIONES EN MILIMETROS
- 2.- ELEVACIONES EN MTS.
- 3.- SIN ESCALA.
- 4.- ESTE DIBUJO ESTA DE ACUERDO CON LOS ESTANDARES DEL IMP. EN CASO DE HABER DIFERENCIAS ENTRE EL DIBUJO Y LOS ESTANDARES, DEBERA GOBERNAR LO SEÑALADO EN LOS DIBUJOS.
- 5.- LAS ELEVACIONES ESTAN INDICADAS AL NIVEL SUPERIOR DE LA REJILLA.
- 6.- TODOS LOS BARRIALES, ESCALONES, REJILLAS, PERNOS Y ACCESORIOS, DEBERAN SER GALVANIZADOS POR BANO CALIENTE SEGUN ASTM-A-123 Y ASTM-A-163.
- 7.- EL SIMBOLO INDICA LOCALIZACION DE MENSULA CON GRAPA.
- 8.- SE REQUEREN CUATRO (4) PUERTOS DE MUESTREO.



"ARREGLO GENERAL Y DETALLES DE PLATAFORMAS PARA PUERTOS DE MUESTREO SOBRE LA CHIMENEA"

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON
 ANALISIS SISMICO ESTATICO Y DISENO ESTRUCTURAL DE UNA CHIMENEA METALICA A PISO AUTOSOPOORTADA
 TESIS PROFESIONAL QUE PRESENTA:
 NABOR MORALES GRANADOS
 PARA OBTENER EL TITULO DE:
 INGENIERO CIVIL

ANEXO "B"



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGÓN

ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO Y DISEÑO ESTRUCTURAL
 DE UNA CIMENTACIÓN METÁLICA A PISO AUTOSOPORTADA

TESIS PROFESIONAL QUE PRESENTA
 PARA OBTENER EL TÍTULO DE

NAIBOL MORALES GRANADOS
 INGENIERO CIVIL

```
DECLARE SUB Combinada (Bandera$)
DECLARE SUB Conica (Bandera$)
DECLARE SUB Cilindro (Bandera$)
DECLARE SUB Espectro (TipoSuelo!, ao!, c!, Fas!, lbs!, r!)
DECLARE SUB Pausa ()
```

```
DIM SHARED Alturas(25), EspAc(25), Diametro(25), PesoAc(25), PesoCon(25),
DiaIntCon(25)
DIM SHARED DiaIntAc(25), DiaExtAc(25), AreaCon(25), AreaEqAc(25), EspAcEq(25),
MomentoX(25)
DIM SHARED PesoEqAc(25), LongEsc(25), TipoPlata(25), AreaTotPlat(25),
CargVivaGrav(25)
DIM SHARED PesoPlatGrav(25), PesoPlatSis(25), PesoEsc(25), PesoAtiesaC(25),
PesoAtiesaL(25)
DIM SHARED PesoTotG(25), DiaProm(25), DiaPromC(25)
DIM SHARED DiamTip1(25), DiamTip2(25), DiamTip3(25), DiamTip4(25),
DiamTip5(25)
DIM SHARED LongTip1(25), LongTip2(25), PesoAtiesaTot(25)
DIM SHARED PesoTotS(25), AlturasM2(25), PesoAlt(25), PesoAlt2(25)
DIM SHARED Vn(25), Pn(25), Mon(25), AlturasM(25), J(25), MRn(25)
```

```
SCREEN 2 'Sets up the screen mode
```

```
CLS
```

```
LINE (100, 10)-(100, 110)
LINE (100, 110)-(120, 110)
LINE (120, 110)-(120, 10)
LINE (120, 10)-(100, 10)
```

```
LINE (260, 10)-(245, 110)
LINE (245, 110)-(295, 110)
LINE (295, 110)-(280, 10)
LINE (280, 10)-(260, 10)
```

```
LINE (425, 10)-(425, 70)
LINE (425, 70)-(410, 110)
LINE (410, 110)-(460, 110)
LINE (460, 110)-(445, 70)
LINE (445, 70)-(445, 10)
LINE (445, 10)-(425, 10)
```

```
LOCATE 16, 12: PRINT "Tipo 1"
LOCATE 16, 32: PRINT "Tipo 2"
LOCATE 16, 53: PRINT "Tipo 3"
```

```
Bandera$ = "false"  
DO  
LOCATE 21, 15 INPUT " Que tipo de Chimenea se desea Analizar ", TipoCh  
  
SELECT CASE TipoCh  
CASE IS = 1  
  
CALL Cilindro(Bandera$)  
Bandera$ = "True"  
  
CASE IS = 2  
  
CALL Conica(Bandera$)  
Bandera$ = "True"  
  
CASE IS = 3  
  
CALL Combinada(Bandera$)  
Bandera$ = "True"  
  
CASE ELSE  
  
Bandera$ = "False"  
  
END SELECT  
  
LOOP UNTIL Bandera$ = "True"
```

ESTRUCTURA DE LA SUBROUTINA PARA LA CHIMENEA COMBINADA

