



300615
UNIVERSIDAD LA SALLE

8
24

ESCUELA DE INGENIERIA
INCORPORADA A LA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

" PROPOSICION PARA CHIMENEAS INDUSTRIALES
CON FUSTE DE ESTRUCTURA DE ACERO.
ESTUDIO COMPARATIVO CON CHIMENEAS
DE CONCRETO REFORZADO. "

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :
FERNANDO CRUZ VILLASANA

Director de Tesis:
ING. GERARDO A. PASTRANA MONDRAGON

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

MEXICO, D. F.

1989



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis 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.

I N D I C E

INTRODUCCION	1
I- GENERALIDADES	5
1.1- Funcionamiento de una Chimenea Industrial	5
1.2- Partes de una Chimenea Industrial	8
1.3- Tipos de Chimeneas Industriales	12
1.4- Proposición de una Chimenea Industrial con Fuste de Estructura de Acero	18
1.5- Determinación de la Altura para Chimeneas Industriales	22
II- ANALISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA CHIMENEA DE CONCRETO REFORZADO	33
2.1- Predimensionamiento	34
2.2- Modelación	36
2.3- Análisis por Sismo. Método Dinámico	37
2.4- Análisis por Viento	53
2.5- Diseño del Fuste	59
III- ANALISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA CHIMENEA CON FUSTE DE ESTRUCTURA DE ACERO	72
3.1- Modelación	72
3.2- Análisis por Sismo. Método Dinámico	80

3.3-	Análisis por Viento	92
3.4-	Diseño del Fuste	95
IV-	DISEÑO DE CIMENTACIONES	102
4.1-	Chimenea de Concreto Reforzado. Cimentación.	104
4.2-	Chimenea con Fuste de Estructura de Acero. Cimentación.	113
V-	ESTUDIO COMPARATIVO DE COSTO	122
5.1-	Chimenea de Concreto Reforzado	123
5.2-	Chimenea con Fuste de Estructura de Acero	125
	CONCLUSIONES	128
	BIBLIOGRAFIA	131
	APENDICE	133
-	Mapa de Regionalización Sísmica de la República Mexicana	134
-	Mapa de Regionalización Eólica de la República Mexicana	135
-	Variación de la velocidad del viento respecto a la altura	136
-	Listado del Programa de Análisis Dinámico	137
-	Gráfica de Ayuda de Diseño para la Chimenea de Concreto Reforzado	141

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

El gran avance que la humanidad ha logrado en todos los campos en las últimas décadas, ha dado origen a la creación de grandes empresas, ha dado lugar a grandes descubrimientos científicos e importantes avances técnicos, como lo son la descomposición del átomo ó la creación de los microcircuitos; todos estos logros tienen un mismo fin, el beneficio al hombre, ya sea brindándole una comodidad, una protección, etc.

Desde luego que todos estos avances han tenido que pagar un precio, siendo este en muchas ocasiones, el de la degradación paulatina del medio ambiente; entendiéndose por medio ambiente el elemento donde vive y se desarrolla un grupo o familia completo de plantas y animales, desde luego esto incluye al ser humano; esta degradación o destrucción puede ser tan nociva, que en muchas ocasiones llega a causar danos a la salud de los seres vivos o su muerte.

En los últimos años, se ha tratado de disminuir ó evitar la contaminación al medio ambiente crenado equipos y sistemas anticontaminantes o reductores de contaminación; por ejemplo para el agua plantas de tratamiento y para el aire filtros y chimeneas.

Debe entenderse que una chimenea, es un dispositivo que

tiene la función de dispersar en la atmósfera los contaminantes producto de una combustión, y no solamente el de dar salida a humos, gases y polvos.

Las grandes industrias que forman parte de la infraestructura de un país, como por ejemplo: plantas cementeras, plantas generadoras de energía eléctrica (cuyo energético sea carbón mineral, combustóleo, diesel, etc.), refinerías, plantas petroquímicas, plantas industrializadas de guanos y productoras de fertilizantes, plantas de concreto asfáltico, incineradores de basura, etc., tienen dentro de sus instalaciones una chimenea industrial ya que en alguna etapa de su producción u operación, efectúan una combustión teniendo como resultado contaminantes que deben descargar a la atmósfera.

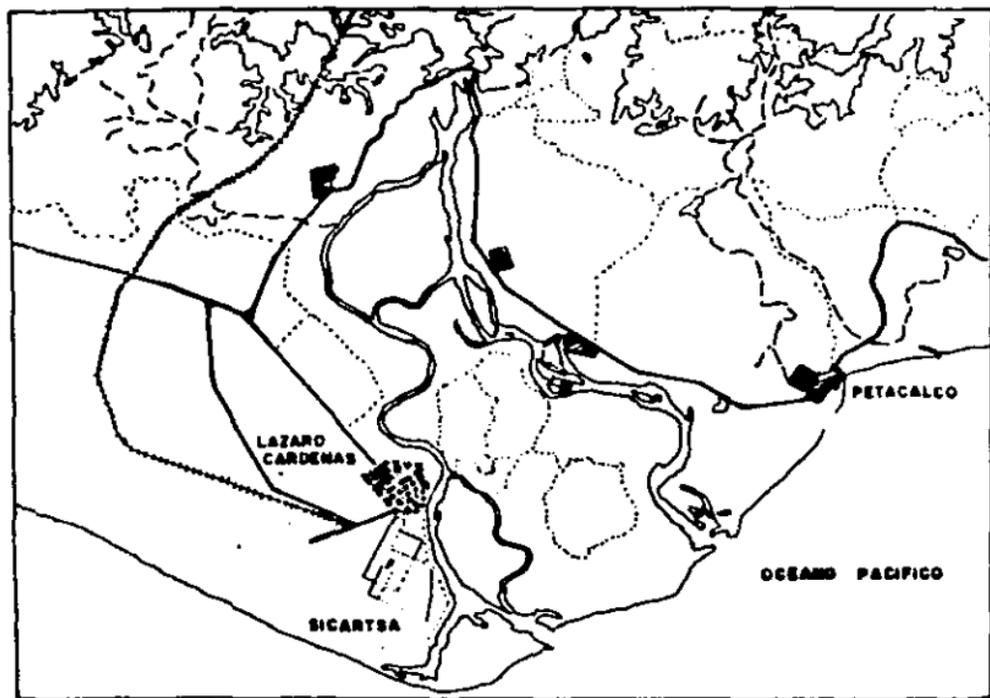
El Ingeniero Civil se encuentra relacionado con todas estas industrias, puesto que él efectúa el diseño de las estructuras, realiza su construcción y puede encargarse de su mantenimiento. Teniendo en cuenta que los objetivos de la Ingeniería Civil para el área industrial son el de realizar estructuras seguras al menor costo, en este trabajo se presenta una alternativa para chimeneas industriales que consiste en una chimenea soportada con estructura de acero en lugar de la chimenea de concreto reforzado tradicional, con el propósito de disminuir su costo de construcción.

La tesis incluye el análisis estructural y el diseño de

ambas estructuras, con su respectiva cimentación; y un análisis comparativo de costo entre ambas chimeneas.

La chimenea a diseñar tendrá la características necesarias para operar en una planta de generación de energía eléctrica, para que el estudio esté basado en condiciones reales, se considerarán los datos de la central termoeléctrica Lázaro Cárdenas; esta planta consta de cuatro unidades generadoras de 350 MW cada una, con una chimenea por cada dos unidades, esta central termoeléctrica consume como energético el carbón mineral y/o combustóleo, por lo que la altura que deberá desarrollar la chimenea dependerá de los contaminantes arrojados a la atmósfera debidos a la combustión de estos energéticos, apeándose a los límites permitidos por la Secretaría de Salubridad y Asistencia publicados en el Diario Oficial de la Federación el día 29 de noviembre de 1982.

La ubicación de esta termoeléctrica es en la población de Petacalco, municipio la Unión, Guerrero; a 28km de Lázaro Cárdenas, Michoacán; por la carretera a Zihuatanejo; este lugar se caracteriza por su alta actividad sísmica y su baja capacidad de carga del terreno, condiciones que resultan muy desfavorables para cualquier estructura, además de estar cerca de la costa que es otro factor que aumenta las condiciones adversas, debido al clima y a los fuertes vientos que pueden azotar el lugar por la llegada de huracanes.



LOCALIZACION DEL SITIO

I- GENERALIDADES

1.1- Funcionamiento de una Chimenea Industrial

Para comprender el funcionamiento de una chimenea, se debe definir que es el aire y como es su contaminación. El aire es una capa gaseosa que envuelve a la tierra. Está formada principalmente de nitrógeno (78%) y oxígeno (21%). El aire es inodoro, incoloro e insipido.

La contaminación del aire puede definirse como la mezcla de uno o más contaminantes sólidos, líquidos o gaseosos que han sido arrojados al aire por la naturaleza y/o por el hombre, tales como argón, neón, helio, criptón, xenón, hidrógeno, vapor de agua, amoníaco, bioxido de carbono y ozono; además de las partículas en suspensión.

Los procesos naturales son en muchas ocasiones, la forma más eficaz para la eliminación de los contaminantes de la atmósfera; así el SO_2 se oxida formando SO_3 y a continuación sulfatos, especialmente sal de calcio. Otras substancias químicas y procesos biológicos son los responsables de la conversión del CO (en escasa medida), del amoníaco y de las áminas en otros compuestos. Estos procesos resultan muy atractivos como solución al problema de la contaminación del aire, a condición de que la concentración de los contaminantes a nivel del suelo pueda mantenerse suficientemente baja. Para conseguir estos resultados es

necesario que se disperse el gas en condiciones adecuadas, lo que es posible mediante la utilización de chimeneas altas; resumiendo, la chimenea industrial, por medio del fenómeno de la dispersión, que consiste en la mezcla del gas con la atmósfera, colabora con la naturaleza para combatir la contaminación del aire.

El fenómeno de la dispersión está sujeto a las condiciones geográficas como lo son:

-Condiciones Atmosféricas

-Topografía

Efectos de las Condiciones Atmosféricas.- La temperatura de la atmósfera es responsable en gran medida del comportamiento del humo que sale de las chimeneas. Se ha descubierto que el cambio de temperatura que experimenta el aire seco ascendente es de -4.8°C en 100m. Este se conoce como gradiente adiabático. Si existe un gradiente todavía más pronunciado, el gas continuará ascendiendo al salir de la chimenea, encontrando así la oportunidad de conseguir una considerable disolución en la atmósfera.

En algunas ocasiones, la temperatura de la atmósfera aumenta con la altitud, lo que da por resultado la situación que se conoce con el nombre de inversión. En estas condiciones la dispersión del gas en la atmósfera es menor. La inversión, pues, hace más difícil la propagación de los contaminantes.

Efectos de la Topografía.- Las colinas, y en el caso de

que la chimenea se encuentre en zona urbana los edificios, pueden reducir la velocidad del viento y, por lo tanto, obstaculizar la dispersión de las concentraciones a nivel del suelo.

La predicción de los efectos topográficos sobre la dispersión es más eficaz si se hace a base de estudios de experimentación con modelos a escala.

Otros factores que influyen en el fenómeno de dispersión son las características del gas que va a despedirse a la atmósfera, como lo son su velocidad de salida, su temperatura y su densidad; las dos primeras características del gas, se toman en cuenta para el cálculo de la altura real y efectiva de la chimenea.

Los contaminates, originados por los procesos de combustión en plantas termoeléctricas se pueden clasificar en dos categorías:

a) Contaminates Primarios: Estos contaminantes son emitidos directamente por la fuente de contaminación.

b) Contaminantes Secundarios: Estos contaminantes se forman en la atmósfera como resultado de la interacción de dos o más contaminantes primarios, o por la reacción con los componentes atmosféricos normales, con o sin fotoactivación. Los principales contaminates primarios producidos por centrales termoeléctricas que utilizan combustibles convencionales están formados por partículas, sólidos o líquidos y gases, como los óxidos de azufre, de nitrógeno y de carbono. En una planta bien diseñada y en buenas

condiciones de operación, el efluente tiene concentraciones bajas de monóxido de carbono (CO) y muy pocos hidrocarburos sin quemar. El bióxido de carbono (CO₂) no tiene efectos fisiológicos adversos sino en concentraciones relativamente altas, por lo cual usualmente no se le considera como un contaminante; además, se sabe que los procesos biológicos y geoquímicos proveen un medio natural suficiente de control de contenido de bióxido de carbono en la atmósfera.

Por estas razones, los principales contaminantes primarios que deben considerarse al tomar medidas contra la contaminación producida por plantas termoeléctricas convencionales, son las partículas y los óxidos de azufre y de nitrógeno.

1.2- Partes de una Chimenea Industrial

Una chimenea de concreto reforzado se compone de dos partes principales:

- Conducto Interno
- Cubierta Externa

El conducto interno, conocido como "tiro" debe estar diseñado de forma que pueda resistir la temperatura del gas y las sustancias químicas contenidas en él, generalmente es de tabique refractario aunque en el caso de que la chimenea sea muy alta se zuncha el tiro de tabique o se emplea un tiro de acero; puede producirse corrosión del metal de los conductos internos cuando la temperatura no se mantiene

constante por encima del punto de condensación, mientras que los tabiques o la argamasa (mortero de cal, arena y agua) puede resistir virtualmente cualquier ataque de tipo químico que provenga de los vapores condensados. La argamasa corriente tiene una resistencia a pH de entre 4 y 12. Los tiros pueden ser seccionales, en cuyo caso se apoyan en el revestimiento externo que se va ensanchando de arriba hacia abajo.

Los tiros pueden funcionar bajo un régimen mecánico o natural; en el primero la salida de gases es a base de ventiladores; y en el régimen natural, la diferencia de presión natural provocada por la altura de la boca y la diferencia de la temperatura entre los gases producto de la combustión y el aire exterior.

La cubierta externa, conocida con el nombre de "fuste", tiene como misión proteger al conducto interno de las cargas accidentales, como lo son el sismo y el viento, de las inclemencias del medio ambiente, sirviéndole al mismo tiempo para sus sostenimiento.

El espacio comprendido entre el conducto interno y la cubierta externa puede estar vacío o relleno de material aislante.

Una chimenea cuenta con estructuras secundarias como lo son:

-Plataformas interiores que se encuentran entre el tiro y el fuste, estas plataformas además de utilizarse para

poder dar el mantenimiento al tiro y a la parte interna de la cubierta exterior, es la forma de ligar el tiro al fuste por medio de placas soporte que se colocan en el extremo de las plataformas y se ahogan en el concreto de la cubierta exterior. (fuste)

-Plataformas exteriores, para el caso de que exista un material aislante dentro de la cubierta exterior, estas plataformas también tienen la función de facilitar el mantenimiento al fuste.

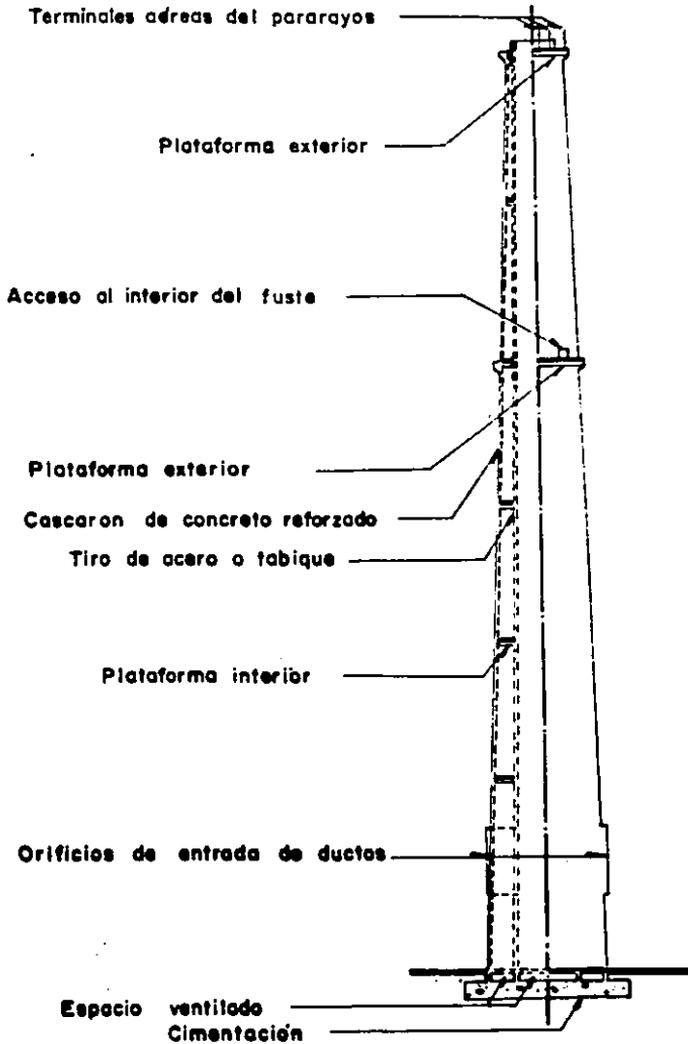
Cuando una chimenea es muy alta, suele colocarse un elevador para su mantenimiento, si la chimenea no es muy alta, únicamente se le coloca una escalera marina.

Para la seguridad de la chimenea se colocan accesorios como las senales aéreas; el reglamento de aeronáutica civil, especifica que para construcciones con alturas mayores de 40 m, deberán colocarse dispositivos que las hagan visibles a cualquier hora para evitar accidentes aéreos.

Para cumplir con esta norma, la chimenea debe estar pintada en la parte superior (12.0m a 15.0m) con franjas de colores llamativos (naranja y blanco), con esto, la estructura resaltará en el día; la primera y la última franja serán de color naranja.

Durante la noche, la visibilidad se logra con luces rojas intermitentes.

Otro accesorio necesario para la seguridad de la chimenea es el pararrayos, que la protege de las descargas



ARREGLO TÍPICO DE UNA CHIMENEA DE CONCRETO REFORZADO

eléctricas atmosféricas. Este consiste en una varilla de acero conectada a tierra, esto se hace por medio de un conductor de cobre sujetado con aisladores a la estructura, para la conexión a tierra se excava un pozo y se rellena con capas de carbón , sales de cobre, arena y para terminar con una capa de carbón con sales de cobre.

El acero de refuerzo debe ir conectado eléctricamente en la punta de la chimenea a los conductores de bajada en dos puntos diametralmente opuestos. Para protección adicional se pueden colocar conexiones en niveles intermedios.

Las escaleras deben ir conectadas eléctricamente en sus extremos superior e inferior a los conductores de bajada. Todas las interrupciones de las escaleras se unirán eléctricamente para formar un circuito continuo de arriba a abajo. .

El tiro de acero debe ir conectado en la base y en el extremo superior al sistema de tierra.

1.3- Tipos de Chimeneas Industriales

Las chimeneas industriales pueden clasificarse según diversos criterios:

a) Atendiendo al método empleado para conseguir la velocidad adecuada de los gases, se les puede clasificar en:

a.1) Chimeneas de Tiro Natural: El diferencial de presión necesario para el flujo de los gases se debe

exclusivamente a diferencias de temperatura y densidad.

a.2) Chimeneas de Tiro Inducido: Por medios artificiales se crea una presión negativa progresivamente decreciente suficiente para provocar el flujo de gases.

a.3) Chimeneas de Tiro Forzado: Por medios artificiales se crean presiones positivas mayores que la atmosférica para dar salida a los gases.

b) Atendiendo al número de ductos independientes contenidos dentro de una misma envoltura estructural. Así se dividen en:

b.1) Chimeneas de ducto simple

b.2) Chimeneas de ductos múltiples

c) Según la manera como resiten las solicitaciones debidas a fuerzas horizontales :

c.1) Chimeneas Autoportantes: Son aquellas chimeneas que no necesitan de una estructura auxiliar para soportar las solicitaciones globales debidas a viento o sismo. El propio fuste de la chimenea ha sido diseñado para resistir dichas solicitaciones.

c.2) Chimeneas No Autoportantes: Son aquellos cuyo ducto (tiro) no está diseñado para soportar por si mismo las solicitaciones globales de viento o sismo y se requiere, por lo tanto, de una estructura auxiliar para resistirlas. Esta clase incluye las chimeneas atirantadas.

d) Atendiendo el material estructural empleado en la

construcción del fuste, las chimeneas se pueden clasificar en:

d.1) Chimeneas de Tabique.

Las primeras chimeneas construidas fueron hechas con tabique; esto fué debido a la falta de tecnología para utilizar otros materiales.

Este tipo de chimeneas no pueden tener una gran altura, ya que la resistencia al viento se encuentra en función de su peso propio porque su resistencia a los esfuerzos de tensión es mínima; así, que para lograr alturas grandes es necesario incrementar su peso muerto, esto se logra engrosando las paredes de la chimenea, pero este aumento de peso provoca que la cimentación se incremente en dimensiones y por lo tanto en costo. (Desde luego, la cimentación dependerá de la capacidad de carga del suelo en que se desplante la estructura). Las chimeneas de tabique no cuentan con un conducto interno (tiro), para la circulación de gases; es decir, los gases se encuentran en contacto con el tabique haciendo surgir la posibilidad de corrosión; para controlar este fenómeno debe de mantenerse constante tanto la temperatura como la velocidad de salida del gas, esto es posible dándole a la chimenea una forma troncocónica, es decir, disminuyendo su sección conforme la altura aumenta.

d.2) Chimeneas de Palastro. (Placa de Acero)

Las chimeneas construidas con palastro son utilizadas para alturas pequeñas, debido a que el viento produce un problema de vibración en ellas, esto es debido a la ligereza

y a la baja rigidez de la estructura; sin embargo el problema de vibración se puede controlar por medio de tirantes colocados de la chimenea al suelo. (Chimeneas Atirantadas)

Al mismo tiempo, el bajo peso muerto de este tipo de chimeneas, hace de ellas estructuras muy seguras en contra del sismo. Otra ventaja de su ligereza es la cimentación, esta va a ser pequeña .

Las chimeneas de palastro no cuentan con conducto interno para la circulación de gases, por ello la condensación de gases deberá cuidarse para impedir la corrosión del metal, normalmente el último tramo de chimenea se construye con acero inoxidable, ya que la condensación es difícil de evitar en ese tramo por la disminución de temperatura debido a su cercanía con el medio ambiente.

Estas chimeneas no pueden adoptar una forma troncocónica, ya que su construcción se complicaría demasiado; para poder lograr un efecto parecido al provocado por esta geometría, la sección de la chimenea se inicia cilíndrica y se colocan tramos cortos con una disminución de sección drástica para continuar con una sección cilíndrica de menor diámetro hasta llegar a otra disminución drástica de sección.

d.3) Chimeneas de Concreto Reforzado.

Las chimeneas de concreto reforzado han tenido un gran desarrollo debido a la necesidad de construir chimeneas altas para poder cumplir con las exigencias de los

reglamentos sobre contaminación atmosférica, estos exigen concentraciones pequeñas de contaminantes a nivel del suelo obligado la creación de estructuras muy altas; como es el caso de la chimenea de la International Nickel Co. en Sudbury, Ontario, Canadá; que tiene una altura de 1250 ft (381m) con un peso de concreto aproximado de 67,500 Kips. (30,617 Tons)

Una ventaja de las chimeneas de concreto, es su resistencia a las vibraciones producidas por el viento, esta es mucho mayor que la correspondiente de las chimeneas de palastro; sin embargo por su alto peso muerto la respuesta que tienen hacia las fuerzas sísmicas las convierten en estructuras críticas.

La dimensión de la cimentación va a depender de la capacidad de carga del terreno, pero en todos los casos el costo será considerable.

La cimentación de una chimenea, generalmente, se soluciona con losa de cimentación, cajón de cimentación ó cajón con pilas; depende del tipo de terreno en que se encuentre.

El conducto interno, tiene la función de proteger el concreto de la acción abrasiva y corrosiva de los gases, mantener la temperatura de los gases y controlar los gradientes de temperatura de manera que los esfuerzos térmicos en el concreto, en el acero de refuerzo y en el revestimiento mismo, queden dentro de los límites aceptables, es una parte muy importante de las chimeneas de concreto reforzado.

Las primeras chimeneas de concreto, tenían como

conducto interno un revestimiento de ladrillo, además de un aislante entre el concreto y el ladrillo. Sin embargo algunas de estas chimeneas presentaban muestras de corrosión por la condensación de los gases, causada por la diferencia de temperatura con el concreto, que se encuentra frío relativamente. Una buena solución a este problema es el uso de tiros independientes de acero.

Al utilizar tiros de acero, debe de ponerse atención a la dilatación del tiro debido a la temperatura.

Es común que el tiro de acero sea del tipo inoxidable en el último segmento, debido a que muy posiblemente exista condensación por el enfriamiento que sufre el tiro al estar en contacto con el aire.

Una ventaja adicional muy importante que se obtiene con la utilización de tiros independientes de acero, son las chimeneas de ductos múltiples (generalmente dos, pudiendo llegar hasta cuatro); así con una sola chimenea se puede atender las necesidades de varias fuentes de emisión de contaminantes. Desde luego, es necesario efectuar un estudio de cual es el número óptimo de tiros, ya que el colocar varios en una sola chimenea repercute en la altura que debe desarrollar esta, debido a la cantidad de contaminantes que arroja a la atmósfera. Las chimeneas de concreto reforzado pueden adoptar diferentes formas: troncocónica, cilíndrica ó una combinación, es decir, iniciar en la base con una forma troncocónica y a cierto nivel mantener un diámetro constante. Un aspecto muy importante de

la construcción, es que en una chimenea no son recomendables las juntas frías, el colado debe ser en forma continua; para esto la utilización de cimbras deslizantes es muy común.

1.4- Proposición de una Chimenea Industrial con Fuste de Estructura de Acero

En el inciso anterior se resaltaron las ventajas y desventajas de los diferentes tipos de chimeneas industriales. Debido a las exigencias de las normas de contaminación ambiental que han surgido recientemente, las chimeneas de concreto reforzado ha sido la única solución viable, por ser las únicas capaces de desarrollar la altura necesaria para utilizar el principio fundamental de difusión-disolución, que es la forma de controlar la contaminación producida por la descarga de gases a la atmósfera.

Conforme la humanidad obtiene un desarrollo, surgen nuevas opciones a la solución de problemas antiguos, así, en esta tesis se presenta un tipo de chimenea de acero capaz de desarrollar las alturas exigidas por las normas de contaminación; debe señalarse la diferencia con las chimeneas de palastro, ya que el tipo de chimenea que se propone es muy diferente a estas. La chimenea propuesta consta de una estructura tridimensional a base de tubos de acero, esta estructura viene a ser el equivalente al fuste en una chimenea de concreto reforzado, el tiro será de acero

como el utilizado en las chimeneas convencionales. Dentro de la clasificación de chimeneas industriales, este tipo podría ser llamado " Chimenea con Fuste de Estructura de Acero".

Preliminarmente, las características que pueden tener este tipo de chimeneas son:

a) Bajo peso muerto. Esta característica repercute notoriamente en el costo de la cimentación, sin importar la capacidad de carga del terreno que se tenga.

b) Ligereza. Al igual que las chimeneas de palastro, la chimenea con fuste de estructura de acero resulta muy segura en contra del sismo.

c) Debido a su poca área expuesta al viento, la sollicitación por viento se reduce; además de reducir el posible problema de vibración por la disminución de fuerza y por tratarse de una estructura tridimensional.

Las ventajas directas sobre las chimeneas de concreto que este tipo de chimeneas tienen son:

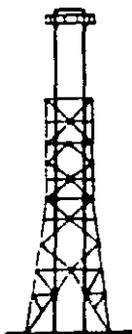
a) Corrosión en el concreto causada por el escape de gases al espacio libre entre el tiro y el fuste.

b) Grietas en el concreto causadas por la excesiva temperatura de los gases.

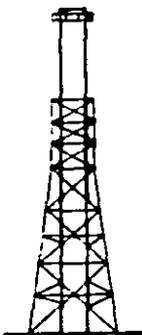
Estas chimeneas también ofrecen la posibilidad de tener varios tiros soportados por una sola estructura, al igual que las de concreto (ductos múltiples), pero además existe la posibilidad de que los mismos tiros se soporten entre

CHIMENEAS CON FUSTE DE ESTRUCTURA DE ACERO

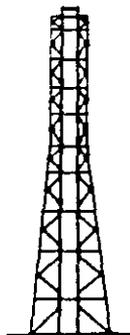
TIPO TORRE



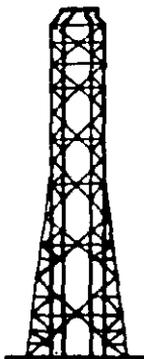
TORRE CUADRADA
1 TIRO



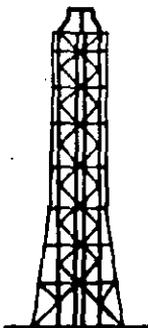
TORRE TRIANGULAR
1 TIRO



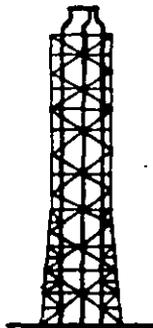
TORRE DIAMANTE
3 TIROS



TORRE CUADRADA
4 TIROS

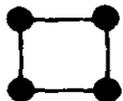
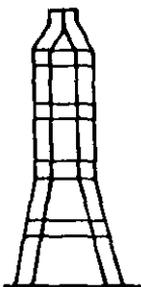


TORRE TRIANGULAR
3 TIROS

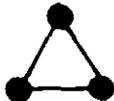
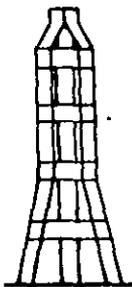


TORRE CUADRADA
2 TIROS

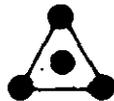
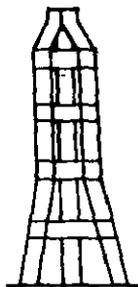
CHIMENEAS DE ACERO AUTOSOPORTABLES



Tetrdpodo



Tripode



Tripode de 4 tiros

si, al ligarlos con contraventeos (chimeneas autoportantes), y así se evita el gastar en la estructura auxiliar; esto solo se podrá usar cuanto existan al menos tres tiros. En este caso también debe estudiarse cual es la conveniencia en costo, porque al juntar tiros en una sola estructura la altura necesaria se incrementa.

El procedimiento de erección, así como el equipo a utilizar es muy variado, depende de las condiciones del sitio; pero básicamente se arman secciones en algún taller y se izan por medio de gruas.

1.5- Determinación de la Altura

El dimensionamiento correcto de la chimenea juega un papel muy importante, ya que de él depende que la obra cumpla sus funciones satisfactoriamente y que su operación resulte económica. Es conveniente señalar que las dimensiones del ducto de gas (altura y diámetro interiores) influyen sobre la eficiencia de la combustión, la economía de combustible, la contaminación atmosférica, la formación de depósitos ácidos en las paredes interiores y, por tanto, sobre la resistencia del flujo de gases y la corrosión. Por último, el dimensionamiento correcto reduce los gastos de mantenimiento y reparación, además de prolongar la vida útil de la obra.

El definir la altura del ducto o de los ductos, la velocidad de salida del efluente, el diámetro interior, así

como la determinación de la temperatura de operación, de la temperatura extrema y su duración, son cuestiones que no corresponden al campo de la Ingeniería Civil, sin embargo por la importancia que tienen para el diseño se darán algunos lineamientos generales.

Los métodos disponibles para la determinación de la altura necesaria de una chimenea, en relación con los problemas de contaminación, se pueden clasificar en analíticos y experimentales. Los métodos analíticos varían grandemente en cuanto a su complejidad, desde simples reglas empíricas, a veces de dudosa validez, hasta elaborados cálculos basados en modelos matemáticos que aplican la teoría de la difusión con el objeto de predecir los niveles de contaminación esperados, y compararlos con la norma de calidad empleada. Los métodos analíticos se basan en numerosas idealizaciones del problema; las condiciones que rigen en un caso real pueden ser en algunos aspectos muy diferentes de las condiciones ideales contempladas en la teoría y, entonces, puede ser necesario recurrir a métodos experimentales, ya sea de campo o de laboratorio. Es el caso de los efectos debidos a irregularidades topográficas o a edificios próximos.

Dentro de las reglas empíricas para determinar la altura y el diámetro de los conductos de una chimenea se tienen las siguientes:

- 1- Las chimeneas deben tener una altura mínima que equivalga por lo menos a dos veces y media la altura de los

edificios que la rodean o los accidentes del terreno, de tal forma que no se produzca ninguna turbulencia importante.

2- La velocidad de salida del gas debe ser superior a 60 pies por segundo (18.3 m/s), de forma que los gases de la chimenea puedan escapar de la turbulenta estela de la chimenea. La velocidad por encima de los 90 pies por segundo (27.4 m/s) puede erosionar los ladrillos del conducto interno.

3- Los gases que salen de chimeneas con diámetro inferior a 5 pies y altura inferior a 200 pies, la mayor parte de las veces llegarán al suelo tan rápidamente que las concentraciones a ese nivel pueden resultar excesivas.

4- Las concentraciones máximas de los gases que van a dispersarse en la atmósfera, generalmente se producen a una altura que varía entre cinco y diez veces la altura de la chimenea.

Para la determinación de la altura de las chimeneas de las centrales termoeléctricas en México, el método analítico que se utiliza es el propuesto por Pasquilli (1961), en el cual el humo se dispersa formando una campana Gaussiana.

Este método considera dos idealizaciones que deben mencionarse antes de mostrarlo.

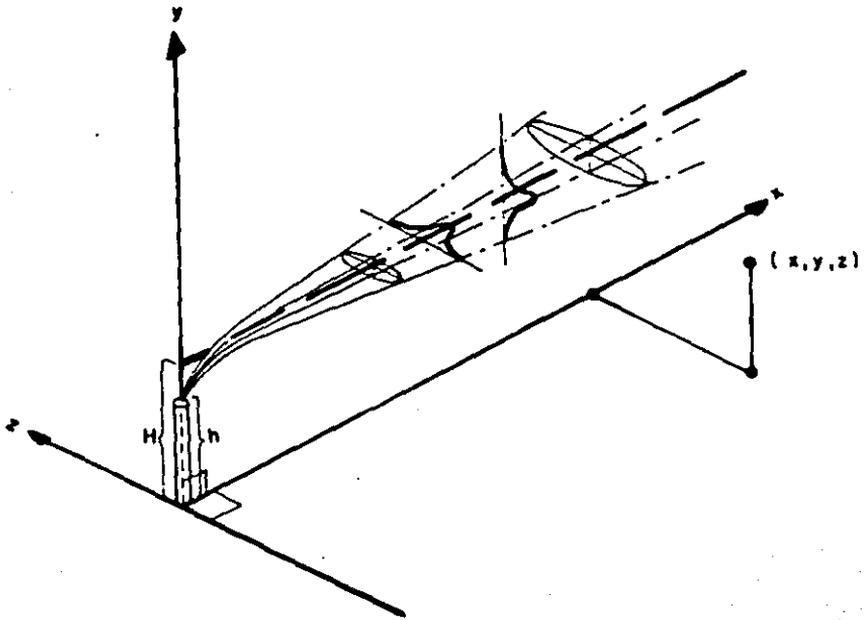
La primera considera que los gases que escapan por la chimenea son estables, esto es, no sufren alteraciones químicas al tener contacto con la atmósfera o con la luz solar, así, en el cálculo de altura para una central termoeléctrica, el bióxido de azufre (SO_2) y las partículas

en suspensión son los únicos contaminantes que se toman en cuenta; los demás contaminantes producto de la combustión como el monóxido de carbono (CO), el dióxido de nitrógeno (NO₂) y el ozono (O₃); no se consideran en el cálculo. Debe mencionarse que esta idealización se considera válida porque estos últimos contaminantes son producidos en pequeñas cantidades.

La segunda consideración se refiere a la Estabilidad Atmosférica de la zona, esto es, que las condiciones meteorológicas (velocidad del viento y temperatura) se mantienen constantes en un período de tiempo determinado. Para el cálculo de altura de chimeneas en México se considera un período de una hora, esta idealización se encuentra muy del lado de la seguridad, ya que significa que una zona determinada recibe los contaminantes emitidos durante una hora, siendo en realidad que los contaminantes se esparcen en un ángulo de 360 grados debido al cambio de dirección del viento durante el día. Por esta razón para el cálculo de la altura de chimeneas es necesario tener los informes meteorológicos por hora, del lugar donde se localizará la chimenea.

El modelo propuesto por Pasquilli para la difusión de gases, consiste en un sistema cartesiano con tres ejes (X,Y,Z); en el origen se coloca la fuente de emisión de gases con el eje X horizontal en dirección del viento, así la pluma de humo viaja paralela al eje X, el eje Y es horizontal y perpendicular al eje X, el eje Z se extiende en forma vertical.

SISTEMA COORDENADO QUE MUESTRA LA
DISTRIBUCION GAUSIANA DE LA DISPERSION DEL
HUMO EN EL SENTIDO VERTICAL Y HORIZONTAL .



La forma en que la pluma de humo se dispersa, es como ya se dijo, describiendo una campana de Gauss, tanto en el sentido vertical como en el horizontal.

Una vez establecido el modelo, se aplica la siguiente expresión matemática para obtener la concentración de gas en un punto determinado (X,Y,Z) con cierta altura efectiva H de chimenea:

$$J(x,y,z,H) = \frac{Q}{2 \pi s_x s_y s_z U} \exp \left(\frac{-1}{2} \frac{(y)^2}{s_y^2} \right) \left(\exp \frac{-1}{2} \frac{(z-H)^2}{s_z^2} + \exp \left(\frac{-1}{2} \frac{(z+H)^2}{s_z^2} \right) \right)$$

nota: $\exp a = e^a$ donde $e = 2.7183$

donde: Q = gasto del gas emitido en la chimenea

U = velocidad del viento

s_x, s_y, s_z = desviaciones estandar de la distribución de Gauss en x, y, z.

H = altura efectiva de la chimenea

x, y, z = coordenadas del punto donde se está calculando la concentración de gas.

El valor de las desviaciones estandar de la distribución de Gauss, se encuentran en función de la distancia del punto a la fuente de emisión, estos valores se encuentran graficados en el " Workbook of Atmosphere Dispersion " (ver bibliografía).

La valuación de la concentración de contaminantes se efectúa para diferentes puntos, hasta encontrar la coordenada en la que la concentración sea máxima; esta concentración de contaminantes se compara con las permitidas

por la Secretaría de Salubridad y Asistencia, si son mayores se aumenta la altura de la chimenea y se vuelve a valuar la concentración en diferentes puntos; en caso de ser menores la altura propuesta queda como definitiva para la chimenea.

Las concentraciones máximas permitidas por la Secretaría de Salubridad y Asistencia son las siguientes:

- Para el Bióxido de Azufre (SO₂): Un promedio diario máximo de 0.13 partes por millón. (p.p.m.)

- Para las Partículas Totales en Suspensión (PTS): Un promedio diario de 275 microgramos por metro cúbico.

- Para el Monóxido de Carbono (CO): Un promedio en ocho horas máximo de 13 partes por millón.

- Para el Dióxido de Nitrógeno (NO₂): Un promedio horario máximo de 21 partes por millón.

- Para el Ozono (O₃): Un promedio horario máximo de 0.11 partes por millón.

El efectuar el estudio de altura de la chimenea considerando periodos de estabilidad atmosférica de una hora, implica efectuar el cálculo 24 veces por cada altura, ya que cada hora las condiciones atmosféricas cambian, provocando que en cada punto (x,y,z) calculado, la concentración de contaminates varie.

Este estudio se realiza con la ayuda de una computadora, ya que el número de puntos a valuar es muy grande, así como la zona de influencia de la chimenea. Si además la central termoeléctrica cuenta con dos o más

chimeneas, el estudio debe considerar la presencia de todas emitiendo gases al mismo tiempo.

Una vez establecida la altura efectiva de la chimenea, es necesario encontrar la altura real, esto es; la altura efectiva de la chimenea incluye una longitud en la cual la pluma de humo se mantiene vertical, y la altura real es aquella que desarrolla la estructura.

Es decir, la altura efectiva es igual a la altura real más un incremento de H.

$$H = h + dH$$

El incremento de H se obtiene por la ecuación de Holland:

$$dH = \frac{V_s d}{U} \left(1.5 + 2.68E-3 p \frac{T_s - T_a}{T_s} d \right)$$

donde:

dH = levantamiento de la pluma arriba de la chimenea

V_s = velocidad de salida del gas (m/s)

d = diámetro interno del tiro (m)

U = velocidad del viento (m/s)

p = presión atmosférica (milibars)

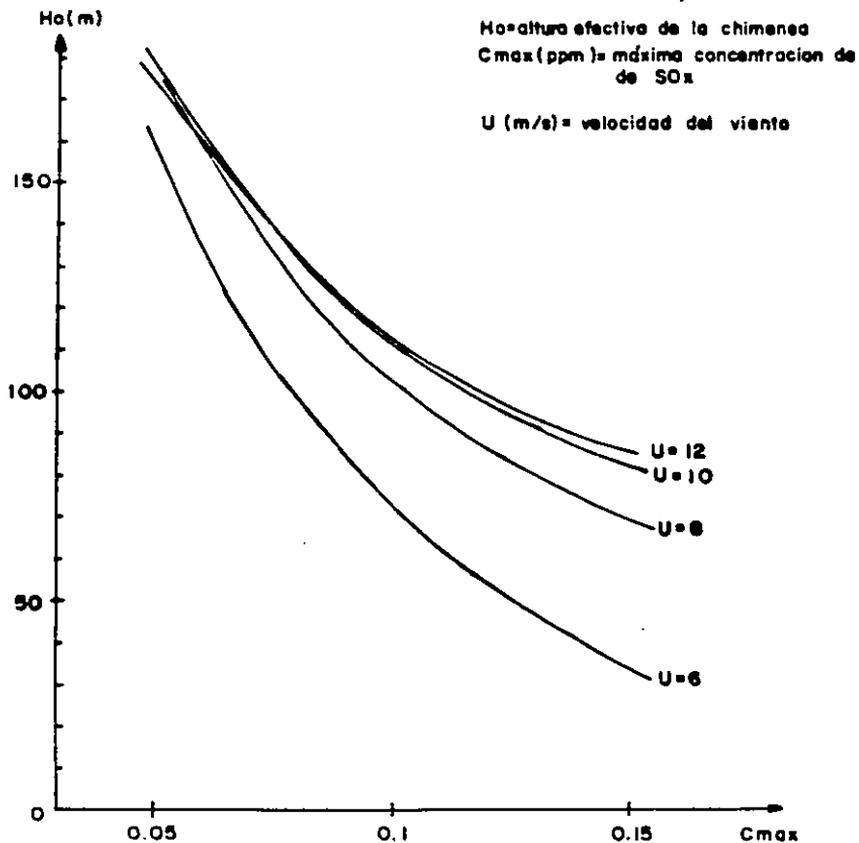
T_s = temperatura del gas (°K)

T_a = temperatura del aire (°k)

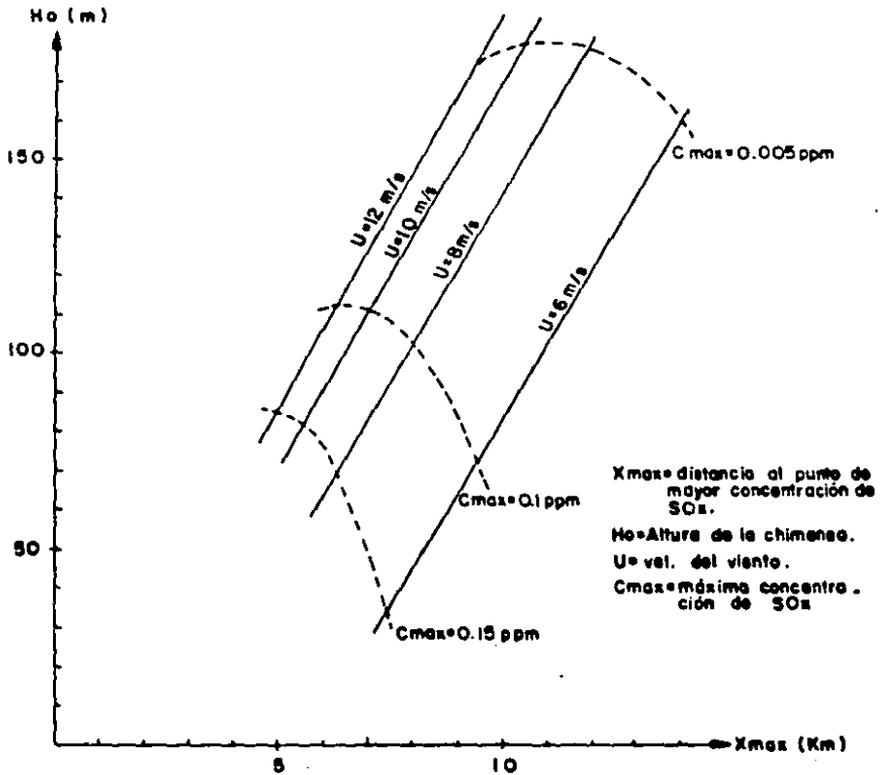
Para la chimenea de la C.T. Lázaro Cárdenas, el estudio de altura determinó una chimenea de las siguientes características:

- 1- Un tiro de acero por cada unidad generadora.
- 2- Una chimenea por cada dos unidades generadoras.

RELACION ENTRE LA ALTURA DE LA CHIMENEA Y LA
MAXIMA CONCENTRACION DE SO_x A NIVEL DEL SUELO.



RELACION ENTRE LA ALTURA DE LA CHIMENEA Y LA DISTANCIA AL PUNTO DE MAYOR CONCENTRACION DE SO_2 AL NIVEL DEL SUELO



3- Altura real de chimenea de 120m.

4- Altura efectiva de tiro 105m.

5- Diámetro interno del tiro de 6m.

En las gráficas 1 y 2 se muestran los resultados del estudio realizado.

En la gráfica 1 se muestra la relación entre la altura efectiva de la chimenea y la concentración máxima de SOx a nivel del suelo, para diferentes velocidades de viento.

En la gráfica 2 se puede observar la relación entre la altura efectiva de la chimenea y la distancia a la máxima concentración SOx a nivel del suelo, también en función de la velocidad de viento.

II- ANALISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA CHIMENEA DE CONCRETO REFORZADO.

El análisis y diseño de una chimenea de concreto es un tema poco común, ya que estas estructuras no se presentan con frecuencia para los Ingenieros.

En este capítulo se mostrará el desarrollo que el análisis y diseño de estas estructuras implica.

En la actualidad, el uso de una computadora dentro de la ingeniería es muy común, ya que es una herramienta que produce un ahorro de tiempo muy importante; desde luego que el computador necesita una secuencia de instrucciones y un modelo matemático para realizar el cálculo; así, la exactitud del análisis dependerá de estos datos.

El modelo matemático tiene una mayor importancia, ya que si este no representa lo más fielmente posible la estructura, los resultados no serán correctos aunque la secuencia de instrucciones lo esté.

Todo proceso de análisis y diseño estructural debe apegarse a normas establecidas; para el caso de las chimeneas que forman parte de una central termoeléctrica, la Comisión Federal de Electricidad (C.F.E), cuenta con el Manual de Diseño de Obras Civiles, el cual contiene un capítulo dedicado a el análisis y diseño de chimeneas. La

experiencia de esta institución acerca de chimeneas, si bien no es extensa, es suficiente para poder dictar lineamientos de análisis y diseño.

Desde luego, existen normas, reglamentos y ordenanzas locales, estatales y federales dictadas por una autoridad competente; ambas normas deben compararse, y analizar bajo las más exigentes.

2.1- Predimensionamiento

Las dimensiones geométricas del fuste dependen principalmente del diámetro de los tiros, de su altura y del arreglo de estos, así como de la población donde se encuentre la estructura, ya que las solicitaciones de sismo y viento a que se encontrará sometida, están en función directa de la zona geográfica.

Por la experiencia que tiene en relación al diseño de chimeneas, la C.F.E. cuenta con tablas de predimensionamiento en función de la altura de la chimenea. Estas tablas se encuentran divididas según las diferentes regiones sísmicas y eólicas que tiene la República Mexicana. (Los mapas de regionalización se encuentran en el apéndice)

REGIONALIZACION SISMICA

REGION	D (DIAMETRO)	t (ESPESOR)
A	$D = 0.10 H$	$t = 0.04 D$
B	$D = 0.11 H$	$t = 0.04 D$

C	D = 0.12 H	t = 0.05 D
D	D = 0.13 H	t = 0.05 D

REGIONALIZACION EOLICA

REGION	D (DIAMETRO)	t (ESPESOR)
2 y 3	D = 0.09 H	t = 0.04 D
4	D = 0.11 H	t = 0.05 D
1 y 5	D = 0.08 H	t = 0.04 D
6	D = 0.11 H	t = 0.05 D
7	D = 0.08 H	t = 0.04 D

Respecto al espesor t, existe una dimensión mínima, la cual está dada por la siguiente expresión:

$$t_{\min} = 20.3 + 0.32 \left(\frac{D_{\text{int}} - 853}{30.5} \right) \text{ cms} \quad (\text{A.C.I. 307-4.1.3})$$

Por los estudios realizado por la C.F.E., la figura más económica para un fuste es la que corresponde a la combinación de un cilindro y un tronco de cono (truncocónica), ya que esta figura responde mejor al diagrama de momentos.

Sin embargo, cuando por necesidad de arreglo de tiros tenemos un diámetro mayor en el tope que el necesario en la base, indiscutiblemente lo recomendable y más económico es tener una figura cilíndrica.

Según la regionalización de los manuales de C.F.E. (Diseno por Sismo y Diseno por Viento), la población de Petacalco se encuentra en la zona sísmica D y en la zona eólica 6.

Utilizando las tablas de predimensionamiento, la chimenea de la C.T. Lázaro Cárdenas tendrá las siguientes dimensiones:

$$H = 120 \text{ m}$$

Por Sismo:

Zona D	$D = 0.13 \times (120 \text{ m})$	$D = 15.60 \text{ m}$
	$t = 0.05 \times (15.60 \text{ m})$	$t = 0.78 \text{ m}$

Por Viento:

Zona 6	$D = 0.11 \times (120 \text{ m})$	$D = 13.20 \text{ m}$
	$t = 0.05 \times (13.20 \text{ m})$	$t = 0.66 \text{ m}$

Verificando espesor mínimo:

$$D_{\text{int}} = 15.60 \text{ m}$$

$$t_{\text{min}} = 20.3 + 0.32 \left(\frac{1560 - 853}{30.5} \right) \quad t_{\text{min}} = 27.72 \text{ cm}$$

2.2- Modelación

El modelo matemático que se utiliza para el análisis estructural de una chimenea, es el de una viga en voladizo, la cual tiene una sección anular con un espesor variable.

La chimenea se encuentra sujeta a cuatro tipos de solicitaciones:

- Carga Muerta
- Sismo
- Viento
- Efectos de Temperatura

La carga muerta la constituyen el peso del fuste y los tiros.

El efecto de sismo se obtiene de un análisis estático o dinámico; la decisión para el uso de uno u otro se expondrá más adelante.

El efecto de viento en una estructura se representa como la aplicación de fuerzas horizontales a ella; estas son obtenidas en base a la velocidad de viento y a el área expuesta que tiene la estructura.

La temperatura de los gases que escapan por la chimenea, producen efectos de compresión y tensión en el concreto y el acero respectivamente.

Una vez obtenidas las cuatro solicitaciones, se prosigue a combinar sus efectos para poder definir cuales son los esfuerzos máximos a los que va a estar sujeta la estructura, y así poder realizar su diseño.

2.3- Análisis Sísmico. Método Dinámico Modal.

El análisis sísmico tiene como fin el obtener las solicitaciones (fuerzas) sísmicas a las cuales estará sujeta la estructura.

Para la obtención de dichas solicitaciones existen dos métodos:

- a) Análisis Estático
- b) Análisis Dinámico Modal

El análisis estático será aplicable al diseño de

chimeneas cuya altura no sobrepase 60m. Este método se podrá emplear para chimeneas de altura mayor solamente en cálculos preliminares estimativos.

El análisis dinámico modal se podrá aplicar sin restricción para cualquier altura de chimenea.

Por las restricciones marcadas anteriormente la chimenea a diseñar se analizará por el método dinámico modal.

Cualquiera que sea el método de análisis empleado, el manual de diseño de C.F.E., no considera el efecto de las aceleraciones verticales, además de despreciar el efecto de excentricidad de las cargas verticales sobre los momentos de flexión (efecto P- Δ); tampoco se tendrán en cuenta la inercia rotacional y las deformaciones asociadas con el esfuerzo cortante, para el cálculo de las frecuencias y de las formas naturales de vibrar de la estructura.

El análisis dinámico se basa fundamentalmente en resolver la ecuación dinámica de equilibrio:

$$M \ddot{x} + C \dot{x} + K x = F(t)$$

donde:

M = Matriz de masas

C = Matriz de amortiguamiento

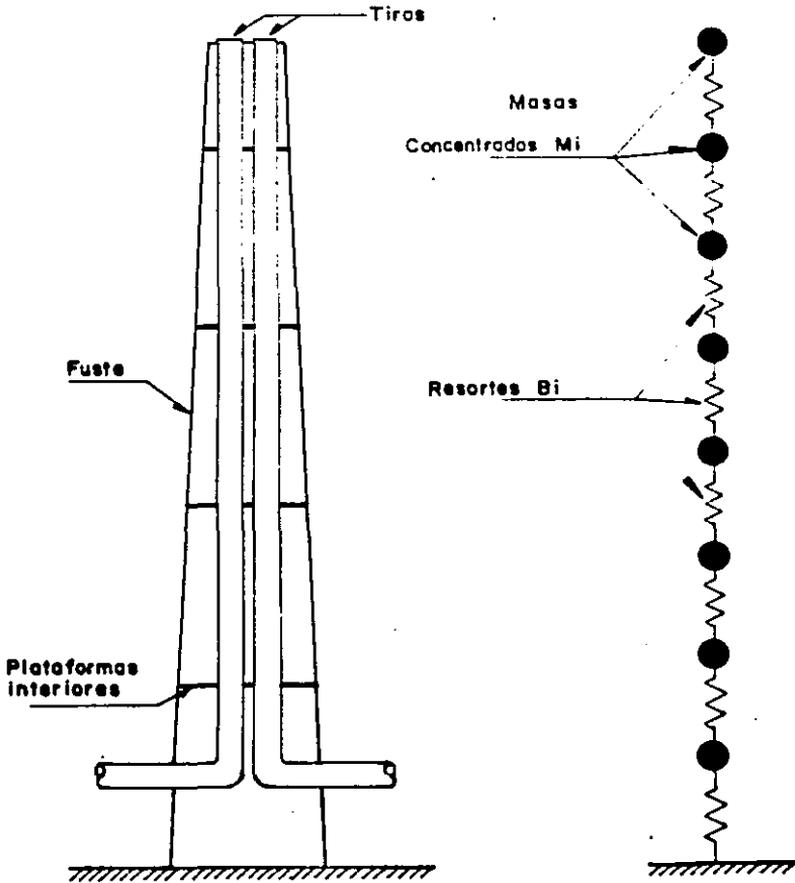
K = Matriz de Rigideces

\ddot{x} , \dot{x} , x = Vectores de aceleración, velocidad y desplazamiento respectivamente

F(t) = Fuerza excitadora en función del tiempo

Debido a que la respuesta estará basada en un espectro

MODELACION DE LA CHIMENEA PARA EL ANALISIS DINAMICO



de aceleraciones para sismo, la ecuación se reduce a:

$$M \ddot{x} + K x = 0$$

Para solucionar esta ecuación dinámica, existen métodos iterativos que pueden ser programados en una computadora, como lo es el método de "Stodola-Vianello-Newmark"; además de que este método converge a la solución en forma rápida.

Para efectuar un análisis dinámico modal, la estructura se debe modelar como una serie de masas concentradas unidas entre sí por resortes cuya rigidez es K.

Las masas concentradas se obtendrán al dividir en n dovelas D_i el cuerpo de la chimenea; se considerará que en el punto medio de cada dovela se encuentra concentrada la masa M_i de la misma.

Las masas M_i y el eje de los resortes B_i , se consideran alojados en el eje de la chimenea.

El número de dovelas D_i en que se divide la chimenea, debe estar comprendido entre 10 y 20, con el fin de tener la precisión adecuada sin aumentar el trabajo numérico excesivamente.

Para iniciar el cálculo de la chimenea, es conveniente tener una tabla con todas las propiedades geométricas, pesos y masas de la estructura ya modulada.

La chimenea a calcular se dividirá en 20 dovelas de 6m cada una:

Modelación de la Chimenea. Propiedades Geométricas del Fuste.

Nivel	Tramo	Altura	Long	Espesor	D int	D ext	Area Trans	Area Vert
20		120						
19	20	108	3m	0.30m	15.60	16.20	14.99	48.60
17	18	102	6	0.34	"	16.28	16.00	97.44
16	17	96	6	0.36	"	16.32	18.05	97.92
15	16	90	6	0.39	"	16.38	19.59	98.28
14	15	84	6	0.41	"	16.42	20.62	98.52
13	14	78	6	0.43	"	16.46	21.65	98.76
12	13	72	6	0.45	"	16.50	22.69	99.00
11	12	66	6	0.47	"	16.54	23.73	99.24
10	11	60	6	0.49	"	16.58	24.77	99.48
9	10	54	6	0.51	"	16.62	25.81	99.72
8	9	48	6	0.54	"	16.68	27.38	100.08
7	8	42	6	0.56	"	16.72	28.43	100.32
6	7	36	6	0.58	"	16.76	29.48	100.56
5	6	30	6	0.60	"	16.80	30.54	100.80
4	5	24	6	0.63	16.443	17.69	33.77	106.16
3	4	18	6	0.67	17.267	18.61	37.76	111.64
2	3	12	6	0.70	18.100	14.50	41.34	117.00
1	2	6	6	0.73	18.933	20.39	45.09	122.36
0	1	0	6	0.77	19.767	21.31	49.68	127.84
	0	0	3	0.80	20.600	22.20	53.78	66.60

Modelación de la Chimenea. Propiedades Geométricas del Fuste.
(Continuación)

NIVEL	TRAMO	ALTURA	INERCIA	PESO	MASA	
20		120m		107.928	11.002	+
19	20	114	473.73	230.465	23.493	+
18	19	108	507.24	245.177	24.993	
17	18	102	541.01	259.925	26.496	
16	17	96	575.02	282.115	28.758	
15	16	90	626.51	296.953	30.270	
14	15	84	661.15	311.827	31.787	+
13	14	78	696.05	326.738	33.307	+
12	13	72	731.20	341.685	34.830	+
11	12	66	766.61	356.668	36.358	
10	11	60	802.28	371.688	37.889	+
9	10	54	838.21	394.284	40.192	
8	9	48	892.59	409.394	41.732	
7	8	42	929.17	424.540	43.276	
6	7	36	966.01	439.722	44.824	
5	6	30	1003.12	486.305	49.572	
4	5	24	1230.72	543.672	55.420	+
3	4	18	1520.51	595.344	60.688	+
2	3	12	1829.08	649.359	66.194	
1	2	6	2182.38	715.385	72.924	+
0	1	0	2622.84	387.245	39.475	
	0		3083.17			

Nota: El símbolo "+" indica que en estos niveles existe una adición de peso y por lo tanto de masa.

Para el modelo del análisis dinámico, debe sumarse a las masas del fuste, las masas de los tiros, esta se sumará a las masas concentradas que se encuentran cerca de una plataforma, ya que los tiros son soportados por estas.

La chimenea cuenta con 6 plataformas interiores, las cuales se encuentran en los siguientes niveles:

120 m
114 m
84 m
60 m
21 m
6 m

El peso de los tiros deberá agregarse a las masas concentradas de dichos niveles.

En el caso de la plataforma del nivel 21m, el peso se repartirá en partes iguales en las masas concentradas de los niveles 18m y 24m.

Peso de los tiros: Tubo de acero de 236" de diámetro
(6.00 m) y 1/2" de espesor (1.27cm)

$$\text{Volumen} = \frac{(3.1416 \times (6.00)^2)}{4} - \frac{(3.1416 \times (5.9746)^2)}{4} \times 1m =$$

$$= 0.24 \text{ m}^3/\text{m} \times 7.85 \text{ Ton}/\text{m}^3 = 1.873 \text{ Ton}/\text{m} \times 2 \text{ tiros} = 3.747 \text{ Ton}/\text{m}$$

Nivel	Plataforma	Long. corresp	Peso Tiros	Peso Total	Masa
20	120 m	3 m	11.241	119.179	12.149
19	114	1	67.44	298.710	30.450
14	84	27	101.168	412.995	42.099
10	60	31.5	118.029	489.697	49.918

4	21	13.5	50.584	594.256	60.577
1	21	13.5	50.584	645.928	65.844
0	-	3.0	-	-	-
		<u>120 m</u>			

Como ya se mencionó, además de la masa de cada dovela, el análisis dinámico necesita como dato la rigidez K_i de cada resorte.

La rigidez de cada nivel se puede obtener de un análisis sísmico estático, esto es, aplicarle al modelo de análisis estructural (viga en voladizo) las fuerzas sísmicas estáticas, y así por medio de los cortantes (V) y los desplazamientos relativos de cada nivel, obtener una rigidez de entrepiso.

$$K_i = \frac{V_i}{\Delta_i}$$

El coeficiente sísmico estático C.S. se obtiene de la siguiente expresión:

$$C.S. = \frac{C}{Q}$$

donde:

C = Coeficiente de aceleración del terreno en función de la fuerza de gravedad.

Q = Factor de Ductilidad.

Debe mencionarse, que el manual de Diseño por Sismo de C.F.E. clasifica a las chimeneas según su destino como estructura del grupo A; esto obliga a incrementar el coeficiente de aceleración en un 30%.

El coeficiente sísmico para la población de Petacalco, Guerrero; es de 0.275 g.

El factor de ductilidad que se usará tanto en el análisis estático como en el dinámico modal, será de $Q = 1.5$

El factor de ductilidad de una estructura se encuentra establecido en los reglamentos de construcción, dependiendo del tipo de estructuración de que se trate. El Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (RDF-87), establece factores que varían desde $Q = 1$ hasta $Q = 4$; el Manual de Diseño de Obras Cíviles de C.F.E., permite factores de ductilidad desde $Q = 1$ hasta $Q = 6$.

El factor de comportamiento sísmico (factor de ductilidad Q) reduce las fuerzas debidas al sismo, ya que estas son divididas entre Q .

Esta reducción de fuerzas es en base a la "cantidad" de energía que la estructura pueda disipar durante la acción del sismo (tipo de estructuración); un $Q = 1$ indica que la estructura debe absorber en su totalidad la fuerza sísmica, mientras que un Q alto indica que la estructura, por medio de diferentes mecanismos, disipará parte de la energía sísmica.

En el caso de chimeneas de concreto, el factor de ductilidad que recomiendan la mayoría de los reglamentos varía de $Q = 1$ a $Q = 2$.

Una chimenea es una estructura isostática, lo cual significa que de existir una falla en algún punto, toda la sección que se encontrara por arriba de ese punto sufría el

ANALISIS SISMICO , METODO ESTATICO

$$F_s = W_i h_i \frac{C_s \sum W_i}{\sum (h_i W_i)}$$

$$C_s = \frac{C}{Q} \quad \text{Estructura Tipo A} = 1.3C \\ C = 0.275 \\ Q = 1.5$$

$$\sum W_i = 8,009.124 \text{ Ton.}$$

$$C_s = \frac{1.3 \times 0.275}{1.5} = 0.238$$

$$\sum h_i W_i = 406,723.374$$

$$\beta = \frac{C_s \sum W_i}{\sum (h_i W_i)} = \frac{0.238 \times 8009.124}{406723.374} = 0.0047$$

$$F_s = \beta W_i h_i$$

Nivel	F (Ton)	V (Ton)
20	63.976	63.976
19	141.212	205.089
18	124.098	329.187
17	124.254	453.441
16	126.929	580.370
15	125.254	705.624
14	142.743	848.367
13	119.442	967.809
12	115.298	1083.107
11	110.324	1193.431
10	121.165	1314.597
9	99.785	1414.382
8	92.097	1506.479
7	83.566	1590.045
6	74.190	1664.235
5	68.374	1732.609

Nivel	F (Ton)	V (Ton)
4	64.007	1796.616
3	52.364	1848.980
2	36.520	1885.500
1	20.627	1906.172

Verificación

$$V_{sB} = C_s W_T \\ = 0.238 \times 8009.124 = 1906.172$$

RIGIDEZ DE ENTREPISO (A PARTIR DEL ANALISIS ESTATICO).

TRAMO	Ax (m)	RIGIDEZ (ton/m)
1	0.0004	4 765 430
2	0.0012	1 571 250
3	0.0021	880 467
4	0.0030	598 872
5	0.0041	422 588
6	0.0052	320045
7	0.0064	248 445
8	0.0074	203 578
9	0.0083	170 407
10	0.0091	144 461
11	0.0098	121 779
12	0.0105	103 153
13	0.0109	88 790
14	0.0114	74 418
15	0.0117	60 310
16	0.0119	48 771
17	0.0120	37 787
18	0.0122	26 983
19	0.0122	16 811
20	0.0123	8 193

colapso, ya que no existe una repartición de momentos en la estructura, cosa que si sucede en una estructura hiperestática.

Bajo estas hipótesis un factor de ductilidad de $Q = 1$ sería el más recomendado, pero recordando que existen algunos mecanismos para disipar energía los cuales no dependen de la estructuración, como son:

a) La fricción entre las secciones transversales de concreto, que disipan energía en forma de calor y ruido.

b) La disipación de energía por medio de la interacción suelo-estructura.

Así, tomando en cuenta estas consideraciones, el factor de ductilidad podría aumentarse a $Q = 1.5$. De aquí que este factor sea el que se utilizará para el diseño de la chimenea de la C.T. Lázaro Cárdenas.

Una vez establecidos los parámetros necesarios para el análisis dinámico (estructura del grupo A, factor de ductilidad, masas y rigideces), además de mencionar que el Manual de Diseño de Obras Civiles especifica en su capítulo de diseño por sismo, que para este análisis es suficiente con calcular únicamente los tres primeros modos de vibración de la estructura para obtener las fuerzas sísmicas; faltaría solamente, definir el espectro de diseño a utilizar.

El espectro de diseño a utilizar, se encuentra definido en el manual de C.F.E., este espectro indica diferentes coeficientes de aceleración en función de las cuatro zonas sísmicas (A, B, C y D), contando cada una con tres

MUM

PROGRAMA REALIZADO POR FERNANDO CRUZ VILLAGANA

UNIVERSIDAD LA SALLE

FEBRERO 1969

PROGRAMA PARA EL CALCULO DE FRECUENCIAS NATURALES Y CONFIGURACIONES
MODALES POR EL METODO DE STODOLLA-VIANELLO-NEWHART.

ESTE PROGRAMA UTILIZA EL MODELO DE LA ESTRUCTURA IDEALIZADA COMO UNA SERIE
DE MASAS UNIDAS POR RESORTES, SIN AMORTIGUAMIENTO, EN VIBRACION LIBRE.

EL PROGRAMA INCLUYE EL CALCULO DE LAS FUERZAS SISMICAS QUE ACTUAN EN LA ESTRUCTURA,
DEACUERDO AL ESPECTRO DE DISEÑO DE LA COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
PARA LA REPUBLICA MEXICANA

NUMERO DE NIVELES (MASAS CONCENTRADAS)? 20

NUMERO DE MODOS A CALCULAR? 3

ZONA SISMICA EN LA REPUBLICA MEXICANA (A,B,C o D)? D

TIPO DE SUELO (1,2 o 3)? 2

ESTRUCTURA DEL GRUPO A o B? A

FACTOR DE DUCTILIDAD Q? 1.5

UNIDADES EN TONELADAS, METROS Y SEGUNDOS

MASA:	1	?	74.936
RIGIDEZ TRAMO:	1	?	4765438
MASA:	2	?	66.194
RIGIDEZ TRAMO:	2	?	1571250
MASA:	3	?	63.275
RIGIDEZ TRAMO:	3	?	880467
MASA:	4	?	58.807
RIGIDEZ TRAMO:	4	?	598872
MASA:	5	?	49.572
RIGIDEZ TRAMO:	5	?	422508
MASA:	6	?	44.824
RIGIDEZ TRAMO:	6	?	320045
MASA:	7	?	43.278
RIGIDEZ TRAMO:	7	?	248445
MASA:	8	?	41.732
RIGIDEZ TRAMO:	8	?	203578
MASA:	9	?	40.192
RIGIDEZ TRAMO:	9	?	170407
MASA:	10	?	43.923
RIGIDEZ TRAMO:	10	?	144681
MASA:	11	?	36.358
RIGIDEZ TRAMO:	11	?	121779
MASA:	12	?	34.830
RIGIDEZ TRAMO:	12	?	103153

MASA: 13 ? 33 307
 RIGIDEZ TRAMO: 13 ? 68793
 MASA: 14 ? 36 361
 RIGIDEZ TRAMO: 14 ? 74418
 MASA: 15 ? 38 278
 RIGIDEZ TRAMO: 15 ? 60313
 MASA: 16 ? 28 758
 RIGIDEZ TRAMO: 16 ? 48771
 MASA: 17 ? 26 496
 RIGIDEZ TRAMO: 17 ? 37787
 MASA: 18 ? 24 993
 RIGIDEZ TRAMO: 18 ? 26983
 MASA: 19 ? 26 342
 RIGIDEZ TRAMO: 19 ? 16811
 MASA: 20 ? 11 577
 RIGIDEZ TRAMO: 20 ? 5193

MODO 1

X SUP 1 = 1
 X SUP 2 = 4.030947
 X SUP 3 = 9.427515
 X SUP 4 = 17.321
 X SUP 5 = 28.41237
 X SUP 6 = 42.87344
 X SUP 7 = 61.18938
 X SUP 8 = 83.81185
 X SUP 9 = 108.2536
 X SUP 10 = 136.8313
 X SUP 11 = 169.6551
 X SUP 12 = 203.8377
 X SUP 13 = 241.4525
 X SUP 14 = 281.9271
 X SUP 15 = 324.8274
 X SUP 16 = 369.6615
 X SUP 17 = 416.2625
 X SUP 18 = 464.3841
 X SUP 19 = 513.9119
 X SUP 20 = 565.1654

X CALC 1 = 1
 X CALC 2 = 4.030947
 X CALC 3 = 9.427515
 X CALC 4 = 17.321
 X CALC 5 = 28.41237
 X CALC 6 = 42.87344
 X CALC 7 = 61.18938
 X CALC 8 = 83.81185
 X CALC 9 = 108.2536
 X CALC 10 = 136.8314
 X CALC 11 = 169.6553
 X CALC 12 = 203.838
 X CALC 13 = 241.4529
 X CALC 14 = 281.9276
 X CALC 15 = 324.8281
 X CALC 16 = 369.6615
 X CALC 17 = 416.2625
 X CALC 18 = 464.3859
 X CALC 19 = 513.9119
 X CALC 20 = 565.1654

W= 6 384236

T= 9841719

COEFICIENTE DE PARTICIPACION MODO 1 = 3.14629E-03

COEFICIENTE SISMICO BAGITO= 56

COEFICIENTE SISMICO= .4653333

X 1 = 3.675176E-04
 X 2 = 1.481484E-03
 X 3 = 3.464872E-03
 X 4 = 6.365945E-03
 X 5 = .0104416
 X 6 = 1.575717E-02
 X 7 = 2.148879E-02
 X 8 = 3.050915E-02
 X 9 = .0397561
 X 10 = 5.007522E-02
 X 11 = 6.198547E-02
 X 12 = 7.491608E-02
 X 13 = 8.874359E-02
 X 14 = .1036162
 X 15 = .1193633
 X 16 = .1362648
 X 17 = .1549137
 X 18 = .1730748
 X 19 = .19284
 X 20 = .2147719

MODO 2 =		
X SUP 1 = 1.0000001		X CALC 1 = 1.0000001
X SUP 2 = 4.024242		X CALC 2 = 4.024243
X SUP 3 = 9.366317		X CALC 3 = 9.366318
X SUP 4 = 17.04078		X CALC 4 = 17.04078
X SUP 5 = 27.49237		X CALC 5 = 27.49239
X SUP 6 = 40.52026		X CALC 6 = 40.52029
X SUP 7 = 55.97663		X CALC 7 = 55.97668
X SUP 8 = 72.68105		X CALC 8 = 72.68113
X SUP 9 = 89.4085		X CALC 9 = 89.40864
X SUP 10 = 104.6282		X CALC 10 = 104.6294
X SUP 11 = 115.8376		X CALC 11 = 115.8379
X SUP 12 = 121.6651		X CALC 12 = 121.6655
X SUP 13 = 119.7783		X CALC 13 = 119.7789
X SUP 14 = 107.8032		X CALC 14 = 107.8039
X SUP 15 = 81.04307		X CALC 15 = 81.04376
X SUP 16 = 38.92791		X CALC 16 = 38.92852
X SUP 17 = -21.01836		X CALC 17 = -21.018
X SUP 18 = -101.0832		X CALC 18 = -101.0834
X SUP 19 = -202.3345		X CALC 19 = -202.3356
X SUP 20 = -339.6999		X CALC 20 = -339.7027

W= 13.46805 T= .4665253

COEFICIENTE DE PARTICIPACION MODO 2 = .0042706

COEFICIENTE SISMICO BASICO= 56

COEFICIENTE SISMICO= .4853333

X 1 = 1.120957E-04
X 2 = 4.510999E-04
X 3 = 1.049923E-03
X 4 = 1.910197E-03
X 5 = 3.081776E-03
X 6 = 4.542146E-03
X 7 = 6.27474E-03
X 8 = 8.147235E-03
X 9 = 1.002232E-02
X 10 = 1.172839E-02
X 11 = 1.298492E-02
X 12 = 1.363817E-02
X 13 = 1.241568E-02
X 14 = 1.208434E-02
X 15 = 9.384645E-03
X 16 = 4.352507E-03
X 17 = -2.356225E-03
X 18 = -1.133101E-02
X 19 = -2.268093E-02
X 20 = -3.807915E-02

MODO 3 =		
X SUP 1 = 1.0000003		X CALC 1 = 1.0000001
X SUP 2 = 4.013337		X CALC 2 = 4.013328
X SUP 3 = 9.267332		X CALC 3 = 9.267311
X SUP 4 = 16.58554		X CALC 4 = 16.5893
X SUP 5 = 26.03189		X CALC 5 = 26.03184
X SUP 6 = 36.84553		X CALC 6 = 36.84548
X SUP 7 = 48.04617		X CALC 7 = 48.04612
X SUP 8 = 57.52915		X CALC 8 = 57.52915
X SUP 9 = 63.07531		X CALC 9 = 63.07538
X SUP 10 = 62.41758		X CALC 10 = 62.41776
X SUP 11 = 52.48099		X CALC 11 = 52.4811
X SUP 12 = 32.93751		X CALC 12 = 32.93831
X SUP 13 = 5.145036		X CALC 13 = 5.145466
X SUP 14 = -.2803173		X CALC 14 = -.2803106

X SUP 15 = -63.90332
 X SUP 16 = -90.75131
 X SUP 17 = -37.26799
 X SUP 18 = -66.8279
 X SUP 19 = 22.51185
 X SUP 20 = 263.7399

X CALC 15 = -23.9023
 X CALC 16 = -53.75179
 X CALC 17 = -37.36901
 X CALC 18 = -56.82912
 X CALC 19 = 22.51119
 X CALC 20 = 263.7441

W= 20.25538 T= .3101984

COEFICIENTE DE PARTICIPACION MODO 3 = 4.8467446E-03

COEFICIENTE SISMICO BASICO= .58

COEFICIENTE SISMICO= .4853333

X 1 = 5.624436E-05
 X 2 = 2.257269E-04
 X 3 = 5.210166E-04
 X 4 = 9.330539E-04
 X 5 = 1.464143E-03
 X 6 = 2.072348E-03
 X 7 = 2.702433E-03
 X 8 = 3.235687E-03
 X 9 = 3.547631E-03
 X 10 = 3.512644E-03
 X 11 = 2.947263E-03
 X 12 = 1.85595E-03
 X 13 = 2.894032E-04
 X 14 = -1.632823E-03
 X 15 = -3.594141E-03
 X 16 = -5.104271E-03
 X 17 = -5.459579E-03
 X 18 = -3.757633E-03
 X 19 = 1.266126E-03
 X 20 = .0148341

SUMA TOTAL DE COEFICIENTES DE PARTICIPACION DE 3 MODOS DE VIBRACION:
 1.226363E-02

DESPLAZAMIENTOS, DESPLAZAMIENTOS MAXIMOS, CORTANTES Y FUERZAS DINAMICAS DE LA ESTRUCTURA ANALISADA

TRAMO	XMAX(m)	XMAX=Q(m)	DX(m)	V(ton)	F(ton)
20	3116959	3175436	2.149446E-02	111.6207	111.6207
19	1930314	2853021	1.910952E-02	321.2551	209.6344
18	1712916	2566374	1.806229E-02	487.3749	166.1198
17	1530293	229544	1.730238E-02	642.4918	155.1169
16	1360063	2040395	1.624363E-02	792.2326	149.7400
15	1197824	1796736	1.545116E-02	931.9536	139.6271
14	1043312	1564969	1.458016E-02	1085.026	153.1668
13	8.975108E-02	1346266	1.358111E-02	1205.866	120.8399
12	7.616997E-02	114255	0127705	1317.315	111.4407
11	6.333947E-02	9.529921E-02	1.165214E-02	1610.986	101.6713
10	5.174733E-02	077621	1.058513E-02	1526.249	107.2628
9	041152E	0617733	9.438619E-03	1600.407	82.15771
8	3.174356E-02	4.761537E-02	8.233944E-03	1677.471	69.86446
7	2.350364E-02	3.525546E-02	6.974446E-03	1732.766	55.29492
6	1.652919E-02	2.479379E-02	5.544235E-03	1774.424	41.65759
5	0109849	1.647735E-02	4.273364E-03	1806.872	31.44637
4	6.711535E-03	0100673	3.053756E-03	1828.809	22.93877
3	3.65778E-03	5.486669E-03	2.092775E-03	1842.619	13.8103
2	1.565305E-03	2.347537E-03	1.176668E-03	1848.84	6.220459
1	3.803367E-04	5.825051E-04	3.803367E-04	1850.591	1.751831

NOTAS:

subdivisiones que indican el tipo de suelo de que se trate (I, II, III).

Como se mencionó en el inciso de predimensionamiento, la chimenea se encuentra en la zona sísmica D; de acuerdo a la clasificación de suelos que tiene el manual de diseño, la zona de Petacalco tiene un suelo del tipo II.

"Tipo II- Suelo de baja rigidez, tal como arenas no cementadas ó limos de mediana o alta compacidad, arcillas de mediana compacidad o suelos de características similares".

Las características del espectro de diseño para zona sísmica D y tipo de suelo II son las siguientes:

- so = 0.14 (ordenada espectral para T = 0)
- c = 0.56 (coeficiente sísmico básico)
- T1 = 0.30 (T1 y T2 periodos naturales que definen
- T2 = 1.40 la forma del espectro, en segundos)
- r = 2/3 (exponente adimensional)

2.4- Análisis por Viento

El viento es un segundo elemento de la naturaleza que sujeta a las estructuras a esfuerzos provocados por fuerzas laterales.

El viento es un fenómeno que en muchas ocasiones se desprecia, pero tratándose de estructuras grandes, sus efectos pueden ser tan considerables como los de sismo.

Las fuerzas debidas al viento resultan dificiles de evaluar debido, en primer lugar, a la complejidad del fenómeno y en segundo, a la incertidumbre sobre los datos de vientos máximos que se han de utilizar.

Esencialmente el viento es aire en movimiento, y al igual que cualquier otro fluido, produce distintos efectos sobre los objetos que se le interponen. Todas las fuerzas debidas al viento son dinámicas en el sentido de que son producidas por un fluido en movimiento; sin embargo, bajo determinadas circunstancias, es válido considerarlas como cargas estáticas. Esta aproximación resulta satisfactoria, dado que en general la relación entre la variación del viento en el tiempo y la frecuencia natural de la estructura es tal que se genera básicamente una respuesta estática.

Como se mencionó anteriormente, de acuerdo a la regionalización eólica del Manual de Diseño de Obras Civiles en el capítulo de diseño por viento, la C.T. Lázaro Cardenas se localiza en la zona 6.

Al igual que el análisis por sismo, la chimenea se clasifica por su destino en una estructura perteneciente al grupo A.

El análisis por viento requiere que la estructura se clasifique según su respuesta a este, el manual especifica que las chimeneas pertenecen al tipo 3, ya que este tipo de estructuración se refiere a construcciones esbeltas de forma aproximadamente cilíndrica o prismática con periodos naturales menores de 2 segundos.

Una vez establecidas las tres condiciones anteriores, se puede iniciar el análisis; el primer parámetro a determinar es la Velocidad Regional (VR).

La velocidad regional es la velocidad máxima probable en una zona o región determinada para un cierto periodo de recurrencia.

Así, para la chimenea tenemos:

Zona eólica 6

Estructura del Grupo A (Este tipo de estructura indica que el periodo de recurrencia será de 200 años.)

por lo tanto: $VR = 170 \text{ km/hr}$

Otro factor que interviene en la velocidad del viento es la topografía del lugar, esta se toma en cuenta en la Velocidad Básica (Vb).

La velocidad básica, es aquella que se presenta a una altura de 10m del terreno. Esta se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$Vb = K VR$$

donde:

K = factor de topografía.

Para el lugar de Petacalco $K = 1$ ya que corresponde a un campo abierto.

$$Vb = 1.0 \times 170 \quad Vb = 170 \text{ km/hr}$$

Nota: Todos los factores y coeficientes que se utilizan son obtenidos del Manual de Diseño de Obras Civiles

de C.F.E. en el capítulo de Diseño por Viento.

Un último factor que afecta la velocidad del viento es la altura de este sobre el terreno, es decir, la velocidad del viento varía con la altura sobre el terreno según se muestra en la figura del apéndice (pag 135).

Para fines de diseño, se supondrá que la velocidad del viento a la altura z (V_z), está dada por las expresiones:

$$V_z = V_b (z/10)^a \quad \text{para } 10\text{m} < z < f$$

$$V_z = V_b \quad \text{para } z \leq 10\text{m}$$

$$V_z = V \quad \text{para } z \geq f$$

donde:

a = coeficiente en función de la topografía del lugar

f = altura gradiente

Para la chimenea a diseñar:

$$a = 0.14$$

$$f = 200 \text{ m}$$

La forma de evaluar la sollicitación del viento para la chimenea es a través de la siguiente expresión:

$$FD(z) = 1/2 \rho (V_z^2) C_d dz$$

donde :

$FD(z)$ = sollicitación de viento por unidad de altura en (kg/m)

ρ = densidad del aire según la altura del lugar

$$\rho = \frac{\rho + n}{\rho + 2n} \rho(0)$$

n = altitud sobre el nivel del mar en km

p(0) = densidad del aire al nivel del mar (1.25 kg/m³ o 0.127 kg seg²/m⁴)

para nuestro caso:

$$p = \frac{B + 0km}{B + 2(0km)} \times 0.127 \quad p = 0.127 \text{ kg seg}^2 / \text{m}^4$$

Vz = Velocidad según la altura (m/s)

Cd = Coeficiente de arrastre (sin dimensiones)
para chimeneas Cd = 0.60

dz = diámetro exterior en la cota z

Por tratarse de una estructura del Tipo 3, las fuerzas de viento son dinámicas; por esto, las fuerzas de diseño FD (z) deben ser afectadas por un factor de ráfaga G .

$$F = FD (z) \times G$$

donde :

$$G = 1 + g \quad r \quad B + (S F / A) \quad G = 2.9841$$
$$g = \text{Factor de pico} \quad g = 2 \ln (no T) + \frac{0.5772}{2 \ln (no T)}$$

$$g = 3.5529$$

no = frecuencia del modo fundamental (ciclos/seg)

$$no = 1.0161$$

T = duración del intervalo en seg. T = 300 seg

$$r = \text{factor de rugosidad} \quad r = H^{-a}$$
$$r = 0.5116$$

B = turbulencia de fondo

FUERZAS DINAMICAS DE VIENTO

TRAMO	Vz (KM/HR)	Vz (M/S)	FD (TON/M)	FD x G (TON/M)
20	240.75	66.87	2.766	8.236
19	239.01	66.39	2.727	8.158
18	237.21	65.89	2.693	8.036
17	235.32	65.37	2.657	7.929
16	233.35	64.81	2.621	7.822
15	231.25	64.23	2.581	7.707
14	229.01	63.61	2.537	7.572
13	226.64	62.96	2.492	7.436
12	224.12	62.25	2.442	7.287
11	221.40	61.50	2.389	7.130
10	218.47	60.69	2.332	6.960
9	215.27	59.80	2.273	6.782
8	211.75	58.82	2.204	6.577
7	207.83	57.73	2.128	6.351
6	203.39	56.50	2.044	6.097
5	198.26	55.07	1.952	6.100
4	192.17	53.38	1.820	6.029
3	184.58	51.27	1.653	5.828
2	174.40	48.44	1.423	5.440
1	170.00	47.22	1.310	5.402

$$B = 2 \left(1 - \frac{1}{(1 + (450/H)^2)^{1/3}} \right)$$

$$B = 1.1902$$

(S F / A) = término debido a la resonancia de la estructura.

A = fracción de amortiguamiento crítico (2%)

F = función relacionada con la distribución de energía del viento

S = factor de tamaño

$$S = \frac{3.1416}{(3 + 8 \alpha_0) \left(1 + \frac{10 D \alpha_0}{H} \right)} = 0.0509 \quad (\text{frecuencia reducida})$$

$$\alpha_0 = \frac{no H}{V(H)} = 1.8234$$

$$F = \frac{X^2}{(1 + X^2)^{4/3}} = 0.1438 \quad X = \frac{1200 no}{V(H)} = 18.2339$$

V (H) = velocidad de viento en la punta (m/s)

$$240.73 \text{ km/hr} = 66.87 \text{ m/s}$$

2.5- Diseño del Fuste

El diseño del fuste de la chimenea debe iniciarse con el análisis de la estructura bajo la acción del sismo y del viento (modelo de la viga en voladizo).

El análisis se efectuará con la ayuda de un programa de computadora. Los resultados que arrojará el programa serán los elementos mecánicos de la estructura. El uso de la computadora para la solución de este problema, tiene el único fin de ahorrar tiempo, ya que el análisis de una viga en voladizo es muy sencillo (estructura isostática).

Una vez obtenidos los elementos mecánicos de la chimenea, el procedimiento de diseño es básicamente, el revisar los esfuerzos en el concreto y en el acero de refuerzo de la chimenea cuyas secciones se propusieron anteriormente, dichos esfuerzos, provocados por las combinaciones de carga mencionadas en el inciso 2.2 .

**Esfuerzos por Solicitaciones Globales de Sismo
más Carga Muerta**

* Esfuerzo máximo de compresión en el concreto sobre el borde exterior del fuste $f'ce$ (kg/cm²).

$$f'ce = \frac{W (1 - \cos a)}{2 r t (1-p) (\sin a - a \cos a) - n p \pi \cos a}$$

* Esfuerzo máximo de compresión en el concreto sobre la circunferencia media del fuste f_{ce} (kg/cm²)

$$f_{ce} = f'ce \left(1 + \frac{t}{2 r (1 - \cos a)} \right)$$

* Esfuerzo máximo de tensión del acero de refuerzo vertical f_{se} (kg/cm²)

$$f_{se} = n f'ce \left(\frac{1 + \cos a}{1 - \cos a} \right)$$

Esfuerzos por Viento más Carga Muerta

* Esfuerzo máximo de compresión en el concreto sobre el

CARGA MUERTA + SISMO

$f_{cw} \text{ perm.} = 0.375 f'_c = 93.75 \text{ kg/cm}^2$

$f_{sw} \text{ perm.} = 1265 \text{ kg/cm}^2$

TRAMO	M (Ton-m)	W (Ton)	g (M/W)	radio	e/r	$f_{exp.}$	ρ	α	f'_c	f_{sw}	A_s
0 0 - 12m	154 859.658	8009.124	19.34	11.10m	1.79	0.80m	0.011	64.5°	66.06	1248.56	5915.80
2 12 - 24	132 663.213	6624.640	20.03	10.20	1.96	0.73	0.012	64°	65.75	1266.35	5410.80
4 24 - 36	110 634.777	5434.884	20.36	9.31	2.19	0.67	0.013	"	64.47	1241.42	4808.80
6 36 - 48	89 153.122	4508.837	19.77	8.40	2.35	0.60	0.015	"	66.30	1277.23	4581.00
8 48 - 60	68 691.803	3674.903	18.69	8.36	2.24	0.56	0.013	"	57.84	1118.43	3695.80
10 60 - 72	49 883.957	2849.731	17.50	8.31	2.11	0.51	0.011	"	49.22	956.11	2839.10
12 72 - 84	33 466.223	2151.378	15.56	8.27	1.88	0.47	0.010	"	40.32	786.23	2373.00
14 84 - 96	19 720.825	1462.053	13.49	8.23	1.46	0.43	0.006	"	26.49	521.17	1299.00
16 96 - 108	9 376.416	882.985	10.62	8.19	1.30	0.39	0.005	64°	19.88	390.77	978.50
18 108 - 120	2 597.244	377.883	6.87	8.14	0.84	0.34	0.002	75°	8.31	109.85	340.60

CARGA MUERTA + VIENTO

$f_{cw \text{ perm}} = 0.25 f'_c = 6250 \text{ kg/cm}^2$

$f_{sw} = 1055 \text{ kg/cm}^2$

TRAMO	M (ton·m)	W(ton)	e(M/W)	radio	e/r	f esp	ρ	α	f cw	f sw
0	53 685.467	8002.124	6.70	11.10m	0.60	0.60m	0.011	140°	32.68	33.94
2	44 077.607	6624.640	6.65	10.20	0.65	0.73	0.012	125°	32.00	74.16
4	35 253.977	5434.264	6.49	9.31	0.70	0.67	0.013	120°	32.44	92.28
6	27 359.963	4508.837	6.07	8.40	0.72	0.60	0.015	"	36.45	84.94
8	20 336.328	3674.903	5.53	8.36	0.66	0.56	0.013	125°	30.66	65.52
10	14 273.676	2842.731	5.01	8.31	0.60	0.51	0.011	135°	24.89	33.56
12	9 170.994	2151.378	4.29	8.27	0.52	0.47	0.010	160°	18.55	4.55
14	5 236.254	1462.053	3.58	8.23	0.44	0.43	0.006	180°	13.40	0.00
16	2 346.822	892.986	2.66	8.19	0.32	0.39	0.005	"	8.85	0.00
18	591.228	377.883	1.56	8.14	0.19	0.34	0.002	"	4.40	0.00

borde exterior del fuste f'_{cw} (kg/cm²)

$$f'_{cw} = \frac{W (1 - \cos a)}{2 r t (1-p) (\sin a - a \cos a) - n p \pi \cos a}$$

* Esfuerzo máximo de compresión en el concreto sobre la circunferencia media del fuste f_{cw} (kg/cm²)

$$f_{cw} = f'_{cw} \left(1 + \frac{t}{2 r (1 - \cos a)} \right)$$

* Esfuerzo máximo de tensión del acero de refuerzo vertical f_{sw} (kg/cm²)

$$f_{sw} = n f'_{cw} \left(\frac{1 + \cos a}{1 - \cos a} \right)$$

donde:

W = Resultante de cargas muertas que actúan por encima de la sección considerada (kg)

2a = Angulo al centro subtendido por el eje neutro como cuerda en la circunferencia de radio r (rad)

r = radio medio del fuste en la sección considerada (cm)

t = espesor del fuste en la sección considerada (cm)

p = relación entre el área total de la sección de acero de refuerzo vertical y el área de la sección de concreto

n = relación de módulos de elasticidad del acero de refuerzo vertical y del concreto.

$$E_s = 2.04 \times 10^6 \quad E_c = 15000 \sqrt{f'_{c'}} \quad \text{si } f'_{c'} = 250 \text{ kg/cm}^2$$

$$n = 8.6 = n = 8$$

Procedimiento de Diseño:

El siguiente proceso, supone que se han fijado las dimensiones generales de las secciones: diámetros, exterior e interior.

El manual de diseño de obras civiles de C.F.E. en su tomo C.2.7 "Chimeneas", contiene curvas de diseño, de las cuales en base al momento flexionante debido a las acciones horizontales (sismo o viento) y un porcentaje de acero propuesto, se obtiene el ángulo α ; posteriormente se aplican las fórmulas para valuar los esfuerzos en la sección y compararlos con los permisibles.

El porcentaje p de acero mínimo para refuerzo vertical será por lo menos igual a 0.25% del área de concreto en la sección considerada. No se usarán en el refuerzo vertical varillas de diámetro inferior al No. 4 y el espaciamiento entre barras no podrá ser superior a 0.30m

Esfuerzos permisibles:

$$f_{ce} = 0.375 f'_c$$

$$f_{se} = 1265 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{para } f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{cw} = 0.375 f'_c$$

$$f_{sw} = 1265 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{para } f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

Esfuerzos Térmicos

* Esfuerzo máximo de compresión vertical en el concreto en la cara interna del fuste f^{ctv} (kg/cm²)

$$f^{ctv} = L K T_x E_c$$

* Esfuerzo máximo de compresión circunferencial en el concreto en la cara interna del fuste f^{ctc} (kg/cm²)

$$f^{ctc} = L K' T_x E_c$$

* Tensión por gradiente térmico en el acero de refuerzo vertical f_{stv} (kg/cm²)

$$f_{stv} = L (z - K) T_x E_s$$

* Tensión por gradiente térmico en el acero de refuerzo anular f_{stc} (kg/cm²)

$$f_{stc} = L (z' - K') T_x E_s$$

donde:

$$L = \text{coeficiente de expansión térmico} \quad L = 1.2 \times 10^{-5}$$

$$K = -p n + \sqrt{p n (p n + 2 z)}$$

$$K' = p' n + \sqrt{p' n (p' n + 2 z')}$$

donde:

p = relación de áreas de refuerzo vertical para esfuerzos térmicos y el área de concreto en la sección horizontal.

z = proporción de la distancia entre la superficie interna del fuste y el refuerzo vertical en la cara interior del fuste y el espesor de este.

p' z' = corresponden al refuerzo horizontal

$$T_x = \frac{t}{C_c} \frac{D_{bi}}{D_c} \left(\frac{T - T_o}{\frac{1}{r_q K_1} + \frac{t_b D_{bi}}{r_q C_b D_b} + \frac{D_{bi}}{K_s D_s} + \frac{t}{C_c D_c} + \frac{D_{bi}}{K_2 D_{co}}} \right)$$

donde:

T = temperatura máxima de los gases dentro de la chimenea $T = 150$

t = espesor del fuste (m)

D_{bi} = Diámetro interior del revestimiento (m)

C_c = Coeficiente de conductividad térmica del concreto
1.50 kcal / m hr °C

Dc = Diámetro medio del fuste (m)

Dco = Diámetro exterior del fuste (m)

K1 = Coeficiente de transmisión superficial del calor de los gases a la superficie interior del revestimiento (o a la superficie interior del fuste si no hay revestimiento). $K1 = 42 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{ hr } ^\circ\text{C}}$

rq = relación entre la transmisión de calor a través del fuste y la transmisión de calor a través del revestimiento $rq = 0.5$

tb = espesor del revestimiento (m) $tb = 0.031\text{m}$

Cb = Coeficiente de conductividad térmica del revestimiento $Cb = 0.068 \frac{\text{kcal}}{\text{m hr } ^\circ\text{C}}$

Db = Diámetro medio del revestimiento (m)

Ks = Coeficiente de transmisión superficial del calor entre la superficie exterior del revestimiento y la superficie interior del cascarón.

$$Ks = 0.06 T \quad \text{si } T = 150 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Ks = 9 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{ hr } ^\circ\text{C}}$$

Ds = Diámetro medio del espacio entre el revestimiento y el cascarón.

$$K2 = 60 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{ hr } ^\circ\text{C}}$$

Esfuerzos Combinados por Carga Muerta, Temperatura y Acciones Horizontales. (Sismo ó Viento)

* Esfuerzo de compresión máximo en el concreto

ESFUERZOS TERMICOS

$$f^{civ} = 0.4 f^c = 100 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Utilizando: } \rho = 0.0025 \text{ y } \rho' = 0.0025$$

$$f_{stiv} = 1690 \text{ kg/cm}^2$$

TRAMO	l	Dc	r	T _x	K	Z	K'	Z'	f ^{civ}	f ^{cic}	f _{stiv}	f _{stic}
0 0- 12m	0.80m	22.20	6 cm	77.828	0.038	0.075	0.078	0.075	8.483	17.345	69.902	6.308
2 12- 24	0.73	20.39	6	72.662	0.041	0.082	0.081	0.082	8.408	16.679	73.519	2.378
4 24- 36	0.67	18.61	6	67.325	0.043	0.090	0.083	0.090	8.286	15.951	77.057	11.132
6 36- 48	0.60	16.80	6	60.854	0.046	0.100	0.086	0.100	8.024	14.952	79.949	20.361
8 48- 60	0.56	16.72	5	58.639	0.043	0.089	0.083	0.089	7.164	13.840	66.135	8.716
10 60- 72	0.51	16.62	5	55.860	0.046	0.098	0.086	0.098	7.244	13.580	71.226	16.723
12 72- 84	0.47	16.54	4	53.089	0.042	0.085	0.082	0.085	6.292	12.336	56.346	4.361
14 84- 96	0.43	16.46	4	50.332	0.044	0.093	0.084	0.093	6.330	12.060	60.144	10.858
16 96- 108	0.39	16.38	3	47.567	0.039	0.077	0.079	0.077	5.256	10.649	44.073	-2.309
18 108- 120	0.34	16.28	3	43.332	0.043	0.088	0.083	0.088	5.255	10.188	48.149	5.718

$f''_{ce-comb}$ (kg/cm²) (C.M. + Sismo + temperatura)

si $k_{comb} < 1$ $f''_{ce-comb} = \frac{f''_{ctv} k_{comb}}{K}$

si $k_{comb} > 1$ $f''_{ce-comb} = f'_{ce} + \frac{(f''_{ctv})}{K} \frac{2 p n z + 1}{2 (1 + p n)}$

* Esfuerzo de tensión máximo en el acero de refuerzo vertical $f_{se-comb}$ (kg/cm²) (C.M. + Sismo + temperatura)

si $f_{se} / f_{stv} < z / (z - K)$

$f_{se-comb} = \frac{f_{stv}}{z - K} (z + p n - p n (p n + 2 z) - 2 p n (z - K)) \frac{f_{se}}{f_{stv}}$

si $f_{se} / f_{stv} > z / (z - K)$

no rige la tensión del caso.

* Esfuerzo de compresión máximo en el concreto

$f''_{cw-comb}$ (kg/cm²) (C.M. + Viento + temperatura)

* Esfuerzo de tensión máxima en el acero de refuerzo vertical $f_{sw-comb}$ (kg/cm²) (C.M + Viento + temperatura)

$k_{comb} = -p n + \sqrt{p n (p n + 2 z) + 2 K (1 + p n)} \frac{f'_{ce}}{f''_{ctv}}$

Nota: Para $f''_{cw-comb}$ y $f_{sw-comb}$ se utilizarán las mismas fórmulas, únicamente cambiando el subíndice w en todas partes donde aparece el subíndice e .

ESFUERZOS COMBINADOS DE CARGA MUERTA + SISMO + TEMPERATURA

$$f'_{ce-comb} = 0.67 f'_c = 0.67 \times 250 = 167.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{se-comb} = 2250 \text{ kg/cm}^2$$

69

TRAMO	f'_{ce}	f'_{ctv}	ρ	K	Z	Kcomb	$f'_{ce-comb}$	f_{se}	f_{stv}	$\frac{f_{se}}{f_{stv}}$	$\frac{Z}{Z-K}$	$f_{se-comb}$
0	66.06	8.48	0.011	0.038	0.075	0.73	162.35	1248.56	69.902	17.86	2.03	No rige
2	65.75	8.40	0.012	0.041	0.082	0.76	155.19	1266.35	73.519	17.22	2.00	"
4	64.47	8.28	0.013	0.043	0.096	0.77	148.81	1241.42	77.057	16.11	1.91	"
6	66.30	8.02	0.015	0.046	0.100	0.82	143.61	1277.23	79.949	15.98	1.85	"
8	57.84	7.16	0.013	0.043	0.089	0.79	131.30	1118.43	66.135	16.91	1.93	"
10	49.22	7.24	0.011	0.046	0.098	0.75	118.38	956.11	71.226	13.42	1.88	"
12	40.32	6.29	0.010	0.042	0.085	0.70	104.19	786.23	56.346	13.95	1.96	"
14	26.49	6.33	0.006	0.044	0.093	0.58	83.76	521.17	60.144	8.67	1.90	"
16	19.88	5.26	0.005	0.039	0.077	0.52	70.20	390.71	44.073	8.87	2.03	"
18	8.31	5.26	0.002	0.043	0.088	0.36	43.97	109.85	48.149	2.28	1.96	"

ESFUERZOS COMBINADOS DE CARGA MUERTA + C. VIENTO + TEMPERATURA.

$$f'_{cw-comb} = 0.67 f'_c = 0.67 \times 250 = 167.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{sw-comb} = 2250 \text{ kg/cm}^2$$

70

TRAMO	f'_{cw}	f'_{fv}	ρ	K	Z	K comb	f'_{cwcomb}	f_{sw}	f_{stv}	$\frac{f_{sw}}{f_{stv}}$	$\frac{Z}{Z-K}$	$f_{sw-comb}$
0	32.68	8.48	0.011	0.038	0.075	0.49	110.41	33.94	69.902	0.49	2.03	56.02
2	35.00	8.40	0.012	0.041	0.082	0.54	109.82	74.18	73.519	1.01	2.00	85.26
4	35.44	8.28	0.013	0.043	0.090	0.56	107.11	92.28	77.057	1.20	1.91	99.15
6	36.45	8.02	0.015	0.046	0.100	0.59	103.21	94.94	79.949	1.19	1.85	101.14
8	30.88	7.16	0.013	0.043	0.089	0.56	92.97	65.52	66.135	0.99	1.93	74.92
10	24.89	7.24	0.011	0.046	0.098	0.52	81.79	33.56	71.226	0.47	1.88	57.80
12	18.55	6.29	0.010	0.042	0.085	0.46	68.34	4.55	56.346	0.08	1.98	33.49
14	13.40	6.33	0.006	0.044	0.083	0.41	58.46	0.00	60.144	0.00	1.90	42.98
16	8.95	5.25	0.006	0.039	0.077	0.34	46.09	0.00	44.073	0.00	2.03	33.53
18	4.40	5.26	0.002	0.043	0.088	0.26	31.79	0.00	48.149	0.00	1.96	51.97

ARMADO DE LA CHIMENEA

TRAMO	ACERO EXTERIOR		ACERO INTERIOR	
	VERTICAL	ANULAR	VERTICAL	ANULAR
1	# 10 ⁹	# 5 ¹⁰	# 6 ¹³	# 5 ¹⁰
2	# 10 ⁹	# 5 ¹⁰	# 6 ¹⁵	# 5 ¹⁰
3	# 10 ⁹	# 5 ¹²	# 6 ¹⁶	# 5 ¹²
4	# 10 ⁹	# 5 ¹³	# 6 ¹⁸	# 5 ¹³
5	# 10 ¹¹	# 5 ¹⁴	# 6 ¹⁹	# 5 ¹⁴
6	# 10 ¹⁴	# 5 ¹⁵	# 6 ²²	# 5 ¹⁵
7	# 10 ¹⁷	# 5 ¹⁶	# 6 ²³	# 5 ¹⁶
8	# 8 ²⁰	# 5 ¹⁸	# 6 ²⁵	# 5 ¹⁸
9	# 8 ²⁶	# 5 ²⁰	# 6 ²⁸	# 5 ²⁰
10	# 5 ³⁰	# 5 ²³	# 6 ³⁰	# 5 ²³

III- ANALISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA CHIMENEA CON FUSTE DE ESTRUCTURA DE ACERO

El análisis y diseño de una chimenea de acero, como la propuesta en esta tesis, es totalmente diferente al análisis y diseño de la chimenea de concreto reforzado.

El tipo de estructura propuesto es muy parecido al de las torres de líneas de transmisión eléctrica, pero su forma de trabajo estructural es diferente, ya que las líneas de transmisión se encuentran sujetas a solicitaciones producidas por los cables que cuelgan de ellas en la punta o casi en esta; otra diferencia importante son las dimensiones, la chimenea requiere de una altura mucho mayor a la requerida por la líneas de transmisión.

El diseño de la "Chimenea con Fuste de Estructura de Acero" puede tomar un poco más de tiempo debido a que no existen, hasta el momento, algunas ayudas de diseño como las existentes en el caso de las chimeneas de concreto reforzado.

Nuevamente el uso del computador será una herramienta para poder efectuar el análisis en forma más rápida y eficiente.

3.1- Modelación

Las dimensiones y la forma que esta estructura debe

presentar están en función directa del número de tiros, del arreglo de estos y de su diámetro.

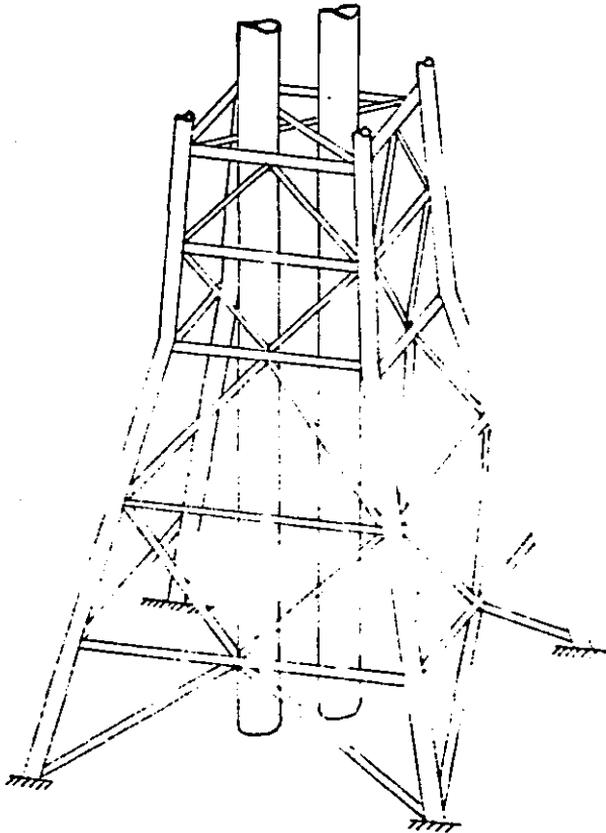
La estructuración que se propone para la chimenea es del tipo de torre cuadrada con contraventeos en todas sus caras y contraventeos horizontales interiores; al igual que la chimenea de concreto, la estructura tiene un ensanchamiento en el tramo inferior para que sus elementos se encuentren sujetos a menores esfuerzos.

El modelo matemático que se le suministra a la computadora para el análisis estructural es el de un marco en el espacio (3 dimensiones).

Otra forma de modelar la estructura podría ser como una armadura en 3 dimensiones, pero debido a que en los tramos superiores los elementos que se encuentran trabajando como columnas tienen una inclinación con respecto a la vertical muy pequeña, casi nula, se pierde la condición básica de toda armadura, que es la de formar triángulos con todos sus elementos, provocando que el programa de análisis detecte problemas de inestabilidad en la armadura, este problema también puede presentarse entre los contraventeos horizontales interiores y los tiros.

El considerar la estructura como marco, provoca que los elementos se encuentren sujetos a momentos flexionantes y no solamente a tensiones y compresiones como sucedería en una armadura. Sin embargo, dichos momentos flexionantes son muy pequeños, comparados con las cargas axiales que actúan en

ESTRUCTURACION PROPUESTA PARA LA CHIMENEA
CON FUSTE DE ESTRUCTURA DE ACERO



los elementos, esto se debe a la esbeltez de los perfiles y a la forma en que está estructurado el marco, en forma de armadura.

Las solicitaciones a las que se encuentra sujeta esta chimenea son las siguientes:

- Carga Muerta
- Sismo
- Viento

Las solicitaciones son iguales a las de la chimenea de concreto con excepción de los efectos de temperatura. Estos efectos desaparecen porque no se trata de un espacio cerrado donde existan temperaturas elevadas, sino por el contrario, el aire circula libremente alrededor de los tiros.

Las solicitaciones mencionadas se combinan para evaluar los esfuerzos máximos a los que va estar sujeta la estructura, y así poder realizar el diseño bajo las condiciones más críticas.

Respecto al predimensionamiento de los elementos que componen la estructura, no existe ninguna tabla o recomendación, por lo que es necesario efectuar varios análisis hasta lograr que todos los elementos propuestos se encuentren sometidos a esfuerzos permisibles de trabajo.

Para el tipo de perfil estructural a utilizar, el más conveniente es el tubular, ya que este conserva sus propiedades geométricas en cualquier dirección, proporcionando a la estructura una simetría muy favorable.

Una consideración adicional para esta chimenea con respecto a la chimenea de concreto reforzado, es la de tomar un cuenta a los tiros como elementos estructurales, no solo como masa.

Para disminuir la sollicitación de carga muerta en la estructura, se propone apoyar los tiros en el terreno, de manera que su peso sea soportado por ellos mismos y no se descarge al terreno a través de las cuatro columnas; de esta forma el fuste de estructura de acero tendrá sus sollicitaciones máximas ante la acción de fuerzas horizontales (sismo y viento).

El proponer a los tiros como elementos estructurales implica que estos sean elementos continuos, por lo que no existirían juntas de expansión para disipar las deformaciones verticales debidas a la temperatura.

La solución que se propone a este problema es la de colocar un ducto interior para que este sufra las deformaciones verticales, y a este ducto colocarle las juntas de expansión, este ducto sería soportado por los tiros, y el espacio que quedara entre ambos relleno de material aislante.

Esta modificación no implicaría un sobrepeso considerable para la estructura, ya que el ducto que se propone sería de un espesor mínimo, puesto que su única sollicitación sería su peso propio; respecto al peso del relleno aislante es muy pequeño.

Desde luego pueden existir otras soluciones para resolver el problema de la expansión vertical debido a la

temperatura del flujo de gases.

Los cuatro apoyos que soportan la estructura tubular y los apoyos de los tiros, son considerados por el modelo matemático como articulaciones, es decir, no se consideran capaces de tomar momento flexionante, esto provocará un ahorro en la cimentación, ya que solo se descargarán al terreno fuerzas axiales y fuerzas cortantes.

En la figura se muestra una de las cuatro caras que componen el modelo matemático y sus dimensiones, al igual que una sección tipo de la estructura donde se puede observar el contraventeo horizontal y los tiros.

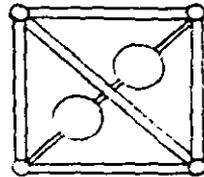
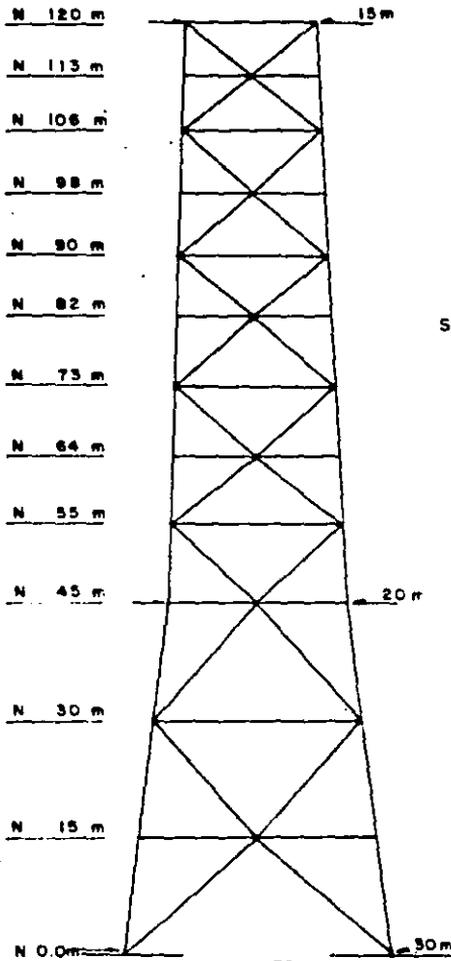
Desarrollando el modelo matemático para su análisis, este contiene 102 juntas o nudos y 288 barras incluyendo los tiros; como se mencionó anteriormente, la estructura está soportada en 6 puntos (4 columnas y 2 soportes para los tiros).

Una vez establecido el modelo matemático, el paso siguiente sería establecer los perfiles que conforman la estructura. La forma en que se determinó la dimensión de estos fue, primeramente, poniendo atención a su longitud para no rebasar los límites en la relación de esbeltez $K l/r$ de cada elemento.

donde:

K = Coeficiente para determinar la longitud efectiva del elemento

MODELO PARA EL ANALISIS ESTRUCTURAL (1 CARA).



SECCION TRANSVERSAL

l = Longitud del elemento

r = radio de giro de la sección

El coeficiente K que se empleará para la obtención de la longitud efectiva de pandeo de todos los elementos de la estructura será de $K = 1$, este factor es el utilizado para elementos articulados en sus dos extremos.

El uso de este factor no coincide con la suposición que se está realizando de la estructura idealizada como un marco, ya que en el modelo matemático los elementos se encuentran empotrados en sus extremos, y de esta manera, el factor de longitud efectiva que se debería utilizar es de $K = 0.65$. En el caso de los elementos que se encuentran empotrados en un extremo y articulados en el otro (tiros), el factor K a utilizar sería de 0.80; pero como se mencionó anteriormente, la esbeltez de los elementos y la forma de estructuración que se tiene, justifican el uso de $K = 1$.

De esta manera los perfiles propuestos para la estructura se muestran en las tablas de las siguientes páginas.

Nota: En la tabla, los perfiles se encuentran numerados conforme la posición que ocupan en el modelo matemático. La numeración del modelo se efectuó de abajo hacia arriba, esto se puede observar en la tabla de perfiles, ya que los elementos más robustos se encuentran en los primeros números de cada grupo de elementos estructural.

Esta numeración no es la idónea para el procedimiento

79 ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

de análisis que utiliza la computadora, ya que el ancho de banda que genera esta numeración es grande y por lo tanto la computadora empleará más tiempo para el análisis; pero esta numeración facilita el control para el calculista.

De esta forma, los elementos estructurales quedan numerados de la siguiente forma:

1 al 48	Columnas	48 elementos
49 al 120	Barras Horizontales	72 elementos
121 al 216	Contraventeos	96 elementos
217 al 264	Plataformas	48 elementos
265 al 288	Tiros	24 elementos

3.2- Análisis Sísmico. Método Dinámico Modal

El procedimiento necesario para la obtención de las fuerzas sísmicas que actúan en la Chimenea con Fuste de Estructura de Acero, es igual al efectuado en la chimenea de concreto reforzado, esto es, un análisis dinámico modal, ya que se trata de una estructura con una altura mayor de 60 m.

Para el análisis dinámico modal, se harán las mismas consideraciones que se hicieron para la chimenea de concreto:

- No se considera el efecto de las aceleraciones verticales.

- Se despreciará el efecto de excentricidad de las

TABLA DE PERFILES

COLUMNA	ELEMENTO (PULG)	LONG. (M)	F (CM)	$\frac{KL}{r}$	S (CM ²)	A _x (CM ²)	PESO (KG/M)
1 - 8	24 x 1/2	15.185 15.185	21.10	72 72	5481.4	256.2	186.54
9 - 16	20 x 3/8	15.185 10.011	17.62	86 57	1824.6	149.2	117.09
17 - 24	18 x 3/8	9.010	14.00	64	1151.4	118.6	93.22
25 - 32	14 x 3/8	9.010 8.009	12.24	74 65	872.6	103.6	81.29
33 - 40	10 x 3/8	8.009	8.65	93	431.0	73.2	57.42
41 - 48	6 x 3/8	7.008	5.06	138	145.6	42.8	33.56
HORIZONTALES							
49 - 56	12 x 3/8	13.34	10.44	128	632.5	98.4	69.56
57 - 60	20 x 3/8	23.33	17.63	132	1824.7	149.2	117.09
61 - 68	10 x 3/8	10.00	8.65	116	431.0	73.2	57.42
69 - 72	18 x 3/8	19.34	14.04	138	1151.4	118.6	93.23
73 - 80	8 x 3/8	9.37	6.85	137	268.1	58.0	46.49
81 - 84	14 x 3/8	18.14	12.24	148	872.6	103.6	81.29
85 - 92	6 x 3/8	8.765	5.06	173	145.6	42.8	33.56
97 - 104		8.233		163			
109 - 116		7.735		153			

TABLA DE PERFILES

	ELEMENTO (PULG)	LONG. (M)	r (CM)	$\frac{KL}{r}$	S (CM ³)	A _x (CM ²)	PESO (KG/M)	
	93-98	12 x 3/8	17.000	10.44	163	632.51	88.4	69.36
	105-108	10 x 3/8	15.930	8.65	184	431.00	73.2	57.42
	117-120	15 000		173				
CONTRAVENTOS								
	121-128	24 x 1/2	21.279	21.11	101	3401.36	238.2	186.94
	129-144	20 x 3/8	19.077	17.62	108	1824.65	149.2	117.09
	145-180	18 x 3/8	13.185 13.214	15.83	88 83	1468.70	134.0	105.16
	181-176	14 x 3/8	12.781	12.24	104	872.63	103.6	81.29
	177-192	12 x 3/8	11.676	10.45	112	632.51	88.4	69.36
	193-216	10 x 3/8	11.296 10.610 10.267	8.65	131 123 119	431.01	73.2	57.43
PLATAFORMAS								
	217	26 x 3/8	37.717	23.01	184	3124.16	194.8	152.89
	221	22 x 1/2	32.994	19.42	170	2219.21	164.4	129.02
	225	20 x 3/8	28.284	17.62	161	1824.65	149.2	117.09
	229	18 x 3/8	27.337	15.83	173	1468.70	134.0	105.16
	233		26.488		167			
	237		25.640		162			

TABLA DE PERFILES

	ELEMENTO (PULG)	LONG. (M)	r (CM)	$\frac{KL}{r}$	S (CM ³)	A _x (CM ²)	PESO (KG/M)
241	16 x 3/8	24.79	14.05	177	1151.56	118.8	93.23
245		24.04		171			
249		23.29		166			
253	14 x 3/8	22.52	12.24	184	872.64	103.6	81.29
257		21.67		179			
261		21.21		173			
218 - 220	14 x 3/8	18.86	12.24	154	872.63	103.6	81.29
222 - 224	14 x 3/8	16.497	12.24	136	872.63	103.6	81.29
226 - 228	12 x 3/8	14.14	10.44	136	652.51	88.4	69.56
230 - 232		13.665		131			
234 - 236		13.24		127			
238 - 240		12.815		123			
242 - 244	10 x 3/8	12.395	8.65	143	431.00	73.2	57.42
246 - 248		12.02		139			
250 - 252		11.645		135			
254 - 256	8 x 3/8	11.26	6.85	164	268.10	58.0	45.49
258 - 260		10.935		160			
262 - 264		10.605		155			
TIROS							
265 - 700	236 x 1/2		211.48		356142.44	2388.6	1873.47

cargas verticales sobre los momentos de flexión (efecto $P - \Delta$).

- No se tendrá en cuenta la inercia rotacional y las deformaciones asociadas con el esfuerzo cortante, para el cálculo de las frecuencias y de las formas naturales de vibrar de la estructura.

Esta chimenea se dividirá en 12 masas concentradas, las cuales corresponden a las 12 plataformas con que cuenta la estructura, dichas plataformas se encuentran en los niveles:

15 m	55 m	82 m	106 m
30 m	64 m	90 m	113 m
45m	73 m	98 m	120 m

Las masas M_i y el eje del resorte B_i , se consideran alojados en el eje de la chimenea.

Para la obtención de las masas concentradas, se debe efectuar un análisis de cargas.

Para efectuar el análisis dinámico, el otro dato que es necesario conocer, en este caso, es la rigidez lateral de cada entrepiso; para esto, al igual que para la chimenea de concreto, por medio de los cortantes y los desplazamientos relativos de cada entrepiso de un análisis sísmico estático se obtendrá.

$$K_i = \frac{V_i}{\Delta_i}$$

Para el análisis estático, el coeficiente sísmico se

ANALISIS DE CARGAS

NIVEL	COLUMNAS	HORIZONTAL	CONTRA-VENTEOS	PLATA-FORMAS	TIROS	TOTAL(KG)	MASA $\frac{TON}{m^2}$
12 (120m)	470	3445	2359	172.4+ 965	13 114	22 077	2.250
11 (115m)	470 + 470	2077	2359 + 2437	1778 + 995	26 229	36 815	3.753
10 (106m)	470 + 920	3659	2437 + 2595	1831 + 1024	28 102	41 038	4.183
9 (98m)	920 + 920	2211	2595 + 3239	2171 + 1337	29 976	43 369	4.421
8 (90m)	920 + 1302	4716	3239 + 3239	2241 + 1380	29 976	47 013	4.792
7 (82m)	1302 + 1465	2355	3239 + 4156	2311 + 1423	31 849	48 098	4.903
6 (73m)	1465 + 1680	5898	4156 + 4156	2696 + 1778	33 723	55 552	5.663
5 (64m)	1680 + 1680	3410	4156 + 5558	2785 + 1837	33 723	54 829	5.589
4 (55m)	1680 + 2344	7212	5558 + 5853	2875 + 1896	35 596	63 014	6.423
3 (45m)	2344 + 3556	4594	5853 + 8935	3312 + 1962	46 837	77 393	7.889
2 (30m)	3556 + 5677	10 927	8935 + 8935	4257 + 2682	56 204	101 173	10.313
1 (18m)	5677 + 5677	7402	8935 + 15912	5767 + 3066	56 204	108 640	11.074
0 (0m)	5677	—	15912	—	28 102	49 691	—
	52322	57904	134748	84093	449635	748702	—

$$299\ 067 + 449\ 635 = 748\ 702\ Kg$$

obtiene de la siguiente expresión:

$$C.S. = \frac{c}{Q}$$

La chimenea de acero se sigue considerando como estructura del grupo A, por lo que el coeficiente de aceleración C se deberá aumentar en un 30%.

$$C = 0.275 g$$

El factor de ductilidad que se utilizará para esta chimenea será de $Q = 3$, tanto para el análisis estático como para el dinámico.

El factor de ductilidad de 3 parecería alto considerando que para la chimenea de concreto se utilizó un $Q = 1.5$. Este aumento en el factor de ductilidad se efectuó debido a que la chimenea de acero cumple con gran parte de las características deseables de una estructura para considerarla como sismo-resistente.

- Poco Peso : Una estructura con una masa grande se encontrará sujeta a sollicitaciones grandes de sismo, ya que la fuerza es directamente proporcional a la masa de acuerdo con la segunda Ley de Newton.

- Sencillez, simetría y regularidad de planta : La chimenea propuesta, apesar del número de barras que contiene, es una estructura sencilla, ya que su comportamiento ante un sismo se puede comprender facilmente. La simetría y regularidad en planta beneficia a la estructura disminuyendo el efecto de torsión que es muy critico para cualquier estructura.

ANALISIS SISMICO . M. ESTATICO

$$F_n = W_i h_i \frac{C_n \sum W_i}{\sum (h_i W_i)}$$

$$C_n = \frac{C}{Q} \quad ; \quad \text{Estructura tipo A=1.3C}$$

C=0.275
Q=3

$$\sum W_i = 699.011 \text{ ton.}$$

$$C_n = \frac{1.3 \times 0.275}{3} = 0.119$$

$$\sum h_i W_i = 42,762.328 \text{ ton.m}$$

$$\beta = \frac{C_n \sum W_i}{\sum (h_i W_i)} = \frac{0.119 \times 699.011}{42762.328} = 0.0019$$

$$F_n = \beta W_i h_i$$

NIVEL	F (ton.)	V (ton.)	A (m)	RIGIDEZ (ton/m)
12	8.183			
11	8.092	8.183	0.0099	520.51
10	8.462	13.246	0.0104	1273.65
9	8.268	21.707	0.0119	1824.12
8	8.231	29.975	0.0115	2606.52
7	7.672	38.206	0.0113	3381.06
6	7.888	45.878	0.0117	3921.20
5	6.826	53.766	0.0127	4233.54
4	6.742	60.592	0.0089	6808.09
3	6.775	67.334	0.0101	6666.73
2	5.904	74.108	0.0067	11060.90
1	3.170	80.012	0.0059	13561.36
		83.182	0.0014	59415.71

VERIFICACION:

$$VSB = C_n \times W_T$$

$$= 0.119 \times 699.011 \text{ ton.}$$

$$= 83.299$$

- Sencillez, simetría y regularidad de Elevación : En este punto, la relación alto/ancho de la base se encuentra en el límite de lo recomendado 4, esta recomendación es debida a que las estructuras altas y esbeltas traen consigo momentos de volteo o fuerzas de compresión muy grandes en las columnas; en el caso de la chimenea, la ligereza de la estructura disminuye ambos efectos.

La forma en que se encuentra distribuida la masa es otro factor que ayuda a un mejor comportamiento ante la acción del sismo, la masa disminuye en forma gradual de abajo hacia arriba, al igual que la rigidez de entrepiso.

- Hiperestaticidad: La hiperestaticidad de la chimenea la convierte en una estructura segura, ya que esto obliga la formación de numerosas articulaciones plásticas antes del colapso.

- Características físicas del material : El material del cual está hecha la estructura, acero en este caso, ayuda a soportar el sismo por sus propiedades:

- Alta ductilidad
- Alta relación resistencia/peso
- Homogeneidad
- Ortotropía

Para el análisis dinámico modal se utilizará el mismo espectro de diseño que para el caso de la chimenea de concreto, el espectro del Manual de C.F.E., para la zona sísmica D y tipo de suelo II. También se calcularán únicamente los 3 primeros modos de vibrar de la estructura

RUN

PROGRAMA REALIZADO POR FERNANDO CRUZ VILLASANA

UNIVERSIDAD LA SALLE

FEBRERO 1989

PROGRAMA PARA EL CALCULO DE FRECUENCIAS NATURALES Y CONFIGURACIONES MODALES POR EL METODO DE STODOLLA-VIANELLO-NEWMARK

ESTE PROGRAMA UTILIZA EL MODELO DE LA ESTRUCTURA IDEALIZADA COMO UNA SERIE DE MASA UNIDAS POR RESORTES, SIN AMORTIGUAMIENTO, EN VIBRACION LIBRE.

EL PROGRAMA INCLUYE EL CALCULO DE LAS FUERZAS SISMICAS QUE ACTUAN EN LA ESTRUCTURA, DEACUERDO AL ESPECTRO DE DISEÑO DE LA COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD PARA LA REPUBLICA MEXICANA

NUMERO DE NIVELES (MASAS CONCENTRADAS)? 12

NUMERO DE MODOS A CALCULAR? 3

ZONA SISMICA EN LA REPUBLICA MEXICANA (A,B,C o D)? D

TIPO DE SUELO (1,2 o 3)? 2

ESTRUCTURA DEL GRUPO A o B? A

FACTOR DE DUCTILIDAD Q? 3

UNIDADES EN TONELADAS, METROS Y SEGUNDOS

MASA: 1 ? 11.074
RIGIDEZ TRAMO. 1 ? 59415.71
MASA: 2 ? 10.313
RIGIDEZ TRAMO. 2 ? 13561.36
MASA: 3 ? 7.889
RIGIDEZ TRAMO. 3 ? 11060.90
MASA: 4 ? 6.423
RIGIDEZ TRAMO. 4 ? 6666.73
MASA: 5 ? 5.589
RIGIDEZ TRAMO. 5 ? 6600.00
MASA: 6 ? 5.663
RIGIDEZ TRAMO. 6 ? 4233.54
MASA: 7 ? 4.903
RIGIDEZ TRAMO. 7 ? 3921.20
MASA: 8 ? 4.792
RIGIDEZ TRAMO. 8 ? 3381.06
MASA: 9 ? 4.421
RIGIDEZ TRAMO. 9 ? 2600.52
MASA: 10 ? 4.183
RIGIDEZ TRAMO. 10 ? 1824.12
MASA: 11 ? 3.753
RIGIDEZ TRAMO. 11 ? 1273.65
MASA: 12 ? 2.250
RIGIDEZ TRAMO. 12 ? 520.51

MODO 1	
X SUP 1 = 1	X CALC 1 = 1
X SUP 2 = 5.361535	X CALC 2 = 5.361537
X SUP 3 = 10.58835	X CALC 3 = 10.58837
X SUP 4 = 18.95775	X CALC 4 = 18.95782
X SUP 5 = 28.72156	X CALC 5 = 28.7217
X SUP 6 = 38.35500	X CALC 6 = 38.35539
X SUP 7 = 49.57788	X CALC 7 = 49.57847
X SUP 8 = 60.85788	X CALC 8 = 60.85881
X SUP 9 = 72.78857	X CALC 9 = 72.79003
X SUP 10 = 85.57768	X CALC 10 = 85.57953
X SUP 11 = 97.10913	X CALC 11 = 97.11235
X SUP 12 = 108.423	X CALC 12 = 108.4269

W = 4.913391 T = 1.278788

COEFICIENTE DE PARTICIPACION MODO 1 = 1.523864E-02
 COEFICIENTE SISMICO BASICO = .56
 COEFICIENTE SISMICO = .2426667

X 1 = 1.502469E-03
X 2 = 6.055543E-03
X 3 = .0159087
X 4 = 2.848354E-02
X 5 = 6.014853E-02
X 6 = 5.762778E-02
X 7 = 7.449011E-02
X 8 = 9.143948E-02
X 9 = .1003646
X 10 = .1285511
X 11 = .1459079
X 12 = .162908

MODO 2 :	
X SUP 1 = 1.000003	X CALC 1 = 1.000003
X SUP 2 = 5.285126	X CALC 2 = 5.285126
X SUP 3 = 9.958774	X CALC 3 = 9.958778
X SUP 4 = 16.32542	X CALC 4 = 16.32544
X SUP 5 = 20.74645	X CALC 5 = 20.74653
X SUP 6 = 24.63128	X CALC 6 = 24.63154
X SUP 7 = 24.63125	X CALC 7 = 24.63761
X SUP 8 = 20.4377	X CALC 8 = 20.43865
X SUP 9 = 18.66655	X CALC 9 = 18.56784
X SUP 10 = -6.551364	X CALC 10 = -6.551941
X SUP 11 = -28.53663	X CALC 11 = -28.53697
X SUP 12 = -58.10293	X CALC 12 = -58.10776

W = 18.85077 T = .5790541

COEFICIENTE DE PARTICIPACION MODO 2 = 2.023515E-02
 COEFICIENTE SISMICO BASICO = .98
 COEFICIENTE SISMICO = .2426667

X 1 = 4.091341E-04
X 2 = 2.162318E-03
X 3 = 6.074461E-03
X 4 = 6.879271E-03
X 5 = 8.488001E-03
X 6 = 1.007757E-02
X 7 = 1.000013E-02
X 8 = 6.36212E-03
X 9 = 6.323649E-03
X 10 = -2.680813E-03
X 11 = -1.167561E-02

X 12 = -2.311318E-02

MODO 3 :

X SUP 1 = 1.000000	X CALC 1 = 1.000000
X SUP 2 = 5.167332	X CALC 2 = 5.167333
X SUP 3 = 9.013853	X CALC 3 = 9.013779
X SUP 4 = 12.5998	X CALC 4 = 12.5995
X SUP 5 = 12.98534	X CALC 5 = 12.98478
X SUP 6 = 9.134174	X CALC 6 = 9.133288
X SUP 7 = 1.567079	X CALC 7 = 1.566222
X SUP 8 = -7.911986	X CALC 8 = -7.912258
X SUP 9 = -16.31765	X CALC 9 = -16.31673
X SUP 10 = -17.96172	X CALC 10 = -17.95949
X SUP 11 = -4.658761	X CALC 11 = -4.649038
X SUP 12 = 36.4044	X CALC 12 = 36.39982

M= 16.19087 T= .3880696

COEFICIENTE DE PARTICIPACION MODO 3 = 2.445115E-02

COEFICIENTE SISMICO BASICO= .56

COEFICIENTE SISMICO= .2426667

X 1 = 2.22049E-04
X 2 = 1.147371E-03
X 3 = 2.00145E-03
X 4 = 2.797635E-03
X 5 = 2.885405E-03
X 6 = 2.027966E-05
X 7 = 3.344489E-04
X 8 = -1.756865E-03
X 9 = -3.623021E-03
X 10 = -3.987786E-03
X 11 = -1.076697E-03
X 12 = 8.00234E-03

SUMA TOTAL DE COEFICIENTES DE PARTICIPACION DE 3 MODOS DE VIBRACION:
5.092294E-02

DESPLAZAMIENTOS, DESPLAZAMIENTOS MAXIMOS, CORTANTES Y FUERZAS DINAMICAS DE LA ESTRUCTURA ANALISADA

TRAMO	XMAX(m)	XMAX*Q(m)	DX(m)	V(ton)	F(ton)
12	.1648319	.4944956	1.845386E-02	9.605313	9.605313
11	.1463782	.4391346	1.770739E-02	22.55302	12.94771
10	.1286706	.3860124	1.916066E-02	34.95134	12.39832
9	.1095101	.3285304	.0176733	46.06501	11.11447
8	9.183664E-02	.2755105	1.666705E-02	56.35229	10.28648
7	.0751698	.2255054	1.663236E-02	65.21882	8.866535
6	5.853743E-02	.1756123	1.740014E-02	73.66419	8.445366
5	4.113729E-02	.1234119	1.174764E-02	79.97896	6.314774
4	2.838966E-02	8.816897E-02	1.264597E-02	85.6406	5.661644
3	1.654369E-02	4.963187E-02	8.124434E-03	89.86355	4.222946
2	8.419255E-03	2.521777E-02	6.846325E-03	92.84540	2.981926
1	1.572931E-03	4.710792E-03	1.572931E-03	93.45678	.6113053

NOTAS:

- 1- DESPLAZAMIENTOS MAXIMOS OBTENIDOS POR EL CRITERIO DE LA RAIZ CUADRADA DE LA SUMA DE LOS CUADRADOS
- 2- CORTANTES Y FUERZAS SISMICAS REDUCIDAS POR DUCTILIDAD

Oh

utilizando el mismo programa de computadora.

Observando el resultado del análisis sísmico dinámico, el desplazamiento máximo real ($X_{MAX} \cdot Q$) de la chimenea en la punta (tramo 12), es de solamente 0.49m.

Si consideramos a la chimenea como un edificio, el desplazamiento máximo permisible sería de $0.008H$ (0.96m).

3.3- Análisis por Viento.

Para el análisis de las fuerzas de viento a las que se encontrará sujeta la estructura, se recurrirá nuevamente al Manual de Diseño de Obras Civiles de C.F.E.

El procedimiento para determinar dichas solicitaciones, es básicamente el mismo que el empleado en la chimenea de concreto.

La chimenea se encuentra localizada en la zona eólica 6, de acuerdo a la regionalización del Manual de C.F.E.

La chimenea se sigue considerando según su destino como estructura del grupo A.

La clasificación de la Chimenea con Fuste de Estructura de Acero, por su respuesta al viento varía respecto a la chimenea de concreto, ahora la chimenea se clasificará dentro del tipo 2, ya que dentro de este tipo se encuentran clasificadas las torres de líneas de transmisión eléctrica, esta comparación es válida debido a que la superficie expuesta que presentan ambas estructuras al viento es muy

FUERZAS - VIENTO

TRAMO	Vz (KM/HR)	Vz (M/S)	long. m	dz	FD (TON)
12	240.73	66.87	3.50	15.00	2.087
11	238.72	66.31	7.00	15.47	4.235
10	236.59	65.72	7.50	15.93	4.587
9	234.00	65.00	8.00	16.47	4.949
8	231.23	64.23	8.00	17.00	4.988
7	228.24	63.40	8.50	17.53	5.324
6	224.55	62.38	9.00	18.13	5.644
5	220.45	61.24	9.00	18.73	5.820
4	215.82	59.95	9.50	19.33	5.867
3	209.85	58.29	12.50	20.00	7.551
2	198.26	55.07	15.00	23.33	9.436
1	179.93	49.98	15.00	26.67	8.884

donde:

$FD(z)$ = Solicitación de viento por unidad de altura (kg/m)

p = densidad del aire según el lugar de la obra
 $p = 0.127 \text{ kg seg}^2 / \text{m}^4$

Vz = Velocidad según la altura (m/s)

Cd = Coeficiente de empuje (sin dimensiones)

Para armaduras construidas con miembros tubulares $Cd = 0.7$

dz = Ancho de sección en la cota z .

3.4- Diseño del Fuste

Una vez obtenidas las sollicitaciones de sismo y viento correspondientes a la estructura formada por los perfiles propuestos, se analizará esta con la ayuda de un programa de análisis estructural en una computadora.

El análisis de la estructura se efectúa bajo diferentes condiciones de carga y combinaciones.

Las condiciones de carga que se considerarán son:

- 1- Carga Muerta
- 2- Carga de Sismo (100% del sismo en una dirección + 50% de sismo en otra dirección ortogonal actuando simultaneamente)
- 3- Carga de Viento
- 4- Carga Muerta + Carga de Sismo
- 5- Carga Muerta + Carga de Viento

Los resultados que el programa arroja son los elementos mecánicos actuantes en cada elemento estructural (carga axial, cortante en x, cortante en y, momento flexionante en x, momento flexionante en y) para cada condición de carga, es decir, cinco elementos mecánicos por elemento.

El procedimiento de diseño consiste en revisar el esfuerzo al que se encuentra trabajando cada elemento estructural bajo la condición de carga más desfavorable y compararlo con el esfuerzo permisible.

Para evaluar los esfuerzos de cada elemento estructural, se debe considerar a los elementos trabajando en flexo-compresión; es decir, sujetos a compresión y con flexión en dos direcciones. Para evaluar la flexo-compresión de un elemento se debe aplicar la fórmula de interacción:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} = < 1 \text{ ó } 1.30$$

El considerar la fórmula de interacción con un valor límite de 1, implica que se están evaluando los efectos para cargas permanentes (carga muerta) y el 1.30 se utiliza para la evaluación de esfuerzos de cargas permanentes + cargas accidentales (carga muerta + carga de sismo o viento).

En la fórmula de interacción :

$$f_a = \frac{P}{A} \quad \text{Esfuerzo de compresión}$$

P = carga axial

A = área transversal del perfil
estructural

Esfuerzo permisible en :

Compresión F_a = en función de $K l / r$

Tensión $F_s = 0.6 f_y$

$F_s = 1520 \text{ kg/cm}^2$

$$f_{bx} = \frac{M_x}{S_x}$$

Esfuerzo de flexión en x

M_x = momento flexionante alrededor
del eje x de la sección.

S_x = módulo de sección del perfil
estructural alrededor del eje x

$$f_{by} = \frac{M_y}{S_y}$$

Esfuerzo de flexión en y

M_y = momento flexionante alrededor
del eje y de la sección.

S_y = módulo de sección del perfil
estructural alrededor del eje y

Esfuerzo permisible en:

Flexión $F_b = 0.6 f_y$

$F_s = 1520 \text{ kg/cm}^2$

Una vez planteado el método de diseño, se elaborarán unas tablas para optimizar el proceso. En la tabla se revisarán los esfuerzos por grupo de elementos, es decir, p.ej. para revisar los esfuerzos en las columnas del primer entrepiso (elementos del 1 al 4), se buscará el elemento sujeto a la mayor carga axial y momento flexionante en 'x' y en 'y' de las cinco combinaciones de carga, en este caso el

elemento 1 resulta ser el más crítico; en la tabla se indica la condición de carga más crítica (no. 4), que corresponde a la combinación de carga muerta + sismo (estos números están de acuerdo a la numeración de las condiciones de carga indicadas al inicio de este inciso.

Nota: Existen dos elementos sujetos a esfuerzos en la fórmula de interacción mayores a 1, estos valores son aceptados dado que la condición de carga corresponde a carga permanente + carga accidental.

DISEÑO EVALUACION DE ESFUERZOS

ELEMENTO	No.	$\frac{K1}{T}$	Carga	Fa (ks/cm ²)	P (ton)	M _x	M _y	Interacción
COLUMNAS								
1 - 4	1	72	4	1140	193.030	0.394	4.733	0.81
5 - 8	5	72	4	1140	186.593	0.403	14.277	0.96
9 - 12	9	86	4	1031	162.562	0.209	2.941	1.17+
				1	30.802	0.001	3.643	0.33
	11	86	4	..	102.720	0.086	5.190	0.86
13 - 16	13	57	4	1245	155.595	0.350	4.946	1.03+
17 - 20	17	64	4	1198	105.205	0.141	1.625	0.84
21 - 24	21	64	4	1198	103.449	0.119	4.397	0.99
25 - 28	25	74	4	1126	59.231	0.031	2.105	0.67
29 - 32	29	65	4	1191	57.066	0.025	2.993	0.69
33 - 36	33	93	4	973	24.994	0.013	1.285	0.55
37 - 40	37	93	4	973	23.218	0.004	1.868	0.61
41 - 44	41	138	4	551	4.957	0.002	0.559	0.47
45 - 48	45	138	4	551	3.693	0.001	0.775	0.51
HORIZONTALES								
49 - 56	55	128	5	641	4.307	0.417	1.040	0.23
57 - 60	57	132	4	603	41.981	0.692	5.052	0.67
61 - 68	68	116	4	763	10.195	1.959	0.472	0.55
69 - 72	69	138	4	551	34.225	0.698	2.545	0.71
73 - 80	76	137	4	560	4.292	0.168	0.590	0.32
81 - 84	81	148	4	480	21.618	0.036	2.154	0.60
85 - 92	91	173	4	351	3.506	0.019	0.227	0.35
93 - 96	93	163	4	395	10.007	0.003	1.625	0.48

ELEMENTO	No.	$\frac{K I}{r}$	carga	Fa (Kg/cm ²)	P (ton)	Mx	My	Interacción
97-104	100	163	4	395	4.373	0.025	0.259	0.39
105-108	105	164	4	310	3.623	0.001	1.222	0.35
109-116	112	153	4	449	5.078	0.012	0.308	0.41
117-120	118	173	4	351	1.659	0.003	1.179	0.24
CONTRAVENTEOS								
121-128	121	101	4	903	65.323	1.419	6.196	0.46
129-136	130	108	4	840	94.298	1.771	2.927	0.60
137-144	137	109	4	840	39.316	4.355	1.693	0.63
145-152	146	88	4	1015	41.189	6.686	1.758	0.68
153-160	156	83	4	1056	43.268	0.126	3.264	0.46
161-168	162	104	4	877	35.100	0.410	1.188	0.51
169-176	176	104	4	877	28.813	0.028	0.872	0.39
177-184	183	112	4	802	24.168	0.191	0.797	0.44
185-192	192	112	4	802	19.703	0.065	0.717	0.36
193-200	199	131	4	612	15.181	0.141	0.623	0.46
201-208	208	123	4	693	9.399	0.187	0.591	0.30
209-216	212	119	4	733	4.426	0.293	0.715	0.24
PLATAFORMAS								
217	-	164	5	390	1.222	0.017	16.859	0.37
221	-	170	4	384	6.600	0.181	10.872	0.42
225	-	161	5	405	3.131	0.158	7.450	0.33
229	-	173		351	4.316	0.088	6.924	0.41

ELEMENTO	No.	$\frac{K}{T}$	Carga	F_0 (kg/cm ²)	P (Ton.)	M_x	M_y	Interacción
233	-	187	5	376	1.198	0.003	8.760	0.28
237	-	182	4	400	2.080	0.047	5.511	0.29
241	-	177	4	335	1.467	0.000	4.600	0.30
245	-	171	4	359	1.785	0.004	4.115	0.28
249	-	166	4	381	1.705	0.000	3.388	0.23
253	-	184	5	310	1.137	0.003	2.762	0.24
257	-	179	4	328	1.989	0.004	1.832	0.20
261	-	173	4	351	0.662	0.005	1.884	0.16
218 - 220	218	154	5	443	0.669	0.008	1.399	0.12
222 - 224	222	135	4	576	5.449	0.122	1.747	0.23
226 - 228	226	135	5	576	1.850	0.072	0.681	0.11
230 - 232	230	131	5	612	2.360	0.037	1.211	0.17
234 - 236	234	127	4	651	2.526	0.047	0.166	0.07
238 - 240	238	123	5	693	4.672	0.054	1.750	0.26
242 - 244	242	143	4	513	1.277	0.034	0.879	0.17
246 - 248	246	139	5	543	1.852	0.032	1.281	0.25
250 - 252	250	135	4	376	1.812	0.037	1.071	0.21
254 - 256	254	164	5	390	0.866	0.022	1.058	0.30
258 - 260	258	160	4	410	1.841	0.026	0.828	0.29
262 - 264	262	155	4	437	1.196	0.006	1.195	0.34
TIROS.								
265 - 268	267	9	4	1491	235.587	0.000	0.000	0.07

IV- ANALISIS Y DISEÑO DE CIMENTACIONES

Todas las estructuras se encuentran soportadas por cimentaciones que transmiten sus efectos de carga al suelo; el éxito del buen comportamiento de una estructura dependerá de una buena cimentación.

Uno de los requisitos para obtener buenos resultados en la cimentación de una estructura, es el conocimiento adecuado de las propiedades mecánicas del suelo, que son los materiales naturales de los cuales los ingenieros se valen para soportar las estructuras.

Dentro del campo de la Ingeniería Civil, existen obras en las cuales el ingeniero especialista en cimentaciones es el profesional principal, obras tales como muelles, presas y bordos. En otras obras, el ingeniero estructural lleva la mayor responsabilidad, como en el caso de edificios; sin embargo, la complejidad de la cimentación no está relacionada necesariamente con el tamaño de la obra, pudiendo presentarse cimentaciones muy complejas en obras pequeñas.

El tipo de cimentación más adecuado para una estructura dada, depende de varios factores: como lo son la función que va a tener la estructura, las cargas que debe soportar la cimentación, las condiciones del subsuelo y el costo de la

cimentación comparado con el costo de la superestructura.

Debido a las relaciones existentes entre estos factores, usualmente pueden obtenerse varias soluciones aceptables para una cimentación. Puede darse el caso de que diferentes ingenieros con su experiencia ante una situación dada, pueden llegar a conclusiones diferentes, por lo que el criterio de cada ingeniero, juega un papel muy importante en la ingeniería de cimentaciones.

Debido a lo heterogéneo del suelo, el procedimiento para el proyecto de una cimentación difícilmente puede catalogarse como estrictamente científico, aunque los progresos en este campo hayan contribuido mucho al perfeccionamiento de la técnica.

Cuando el ingeniero experimentado comienza a estudiar una obra nueva, casi por instinto desecha los tipos más inadecuados de cimentación, y enfoca su atención en los más viables.

Al elegir el tipo de cimentación, el ingeniero debe de:

1- Obtener por lo menos, información aproximada con respecto a la naturaleza de la superestructura y de las cargas que se van a transmitir a la cimentación.

2- Determinar las condiciones del sub-suelo en general.

3- Considerar los tipos de cimentaciones acostumbrados, para evaluar si se puede utilizar en la estructura a cimentar.

Las condiciones de subsuelo que existen en la población de Patacalco son las siguientes, y fueron obtenidas del estudio de mecánica de suelos efectuado por la subdivisión de Ingeniería Experimental de la Comisión Federal de Electricidad:

- Fecha del estudio: 12 de Abril de 1985.

- Descripción resumiendo el tipo de suelo: Suelo constituido por dos depósitos. El superior constituido de grava, arena y arcilla en un conglomerado compacto de aproximadamente 15m de espesor. El depósito inferior compuesto de lentes de arcilla gris de consistencia firme con espesor aproximado de 25m.

- La capacidad de carga (presión neta) del suelo es de 10 ton / m² con un factor de seguridad de 3 a 1.0 m del nivel del terreno natural.

- El tipo de terreno es un conglomerado con cementación variable, clasificado como tipo II.

La subdivisión de Ingeniería Experimental recomienda para la cimentación de la chimenea de la C.T. Lázaro Cárdenas el uso de una Losa de Cimentación.

4.1- Chimenea de Concreto Reforzado. Cimentación

La breve explicación anterior acerca de cimentaciones, ayuda a visualizar la importancia de la cimentación para cada estructura, y la dificultad que implica su diseño.

La cimentación para la chimenea de la C.T. Lázaro Cárdenas puede definirse como compleja, debido a la baja capacidad de carga del terreno y a las enormes solicitaciones a las que se verá exigida.

Las solicitaciones en la cimentación son:

Momento = 154859.654 ton m

Carga Axial = 8009.124 ton

La solución a la cimentación podría efectuarse de varias maneras de acuerdo con el tipo de cimentaciones acostumbradas para este tipo de estructura:

- Losa de Cimentación
- Losa de Cimentación con pilotes

Si consideramos la solución de losa con pilotes, esta podría descartarse rápidamente dada la naturaleza del suelo de la zona.

El suelo compuesto de arenas y gravas no permite el uso de pilotes de fricción, ya que estos se romperían durante el proceso de colocación; una opción sería la de efectuar una perforación previa, pero el efecto de fricción no queda garantizado. Si se recurriera a pilotes de punta, sería necesario colocar pilotes verticales e inclinados, el problema que se presenta en esta opción es que no se puede realizar la perforación para los pilotes inclinados.

De esta manera el uso de una losa de cimentación es el más viable, tal como lo planteó el estudio de mecánica de suelos.

El principal problema que implica la losa de cimentación es la baja capacidad de carga del suelo; para mejorar esta condición existen dos opciones.

La primera consiste en aumentar la capacidad del terreno por medio de un mejoramiento de una capa del suelo.

El mejoramiento de un suelo consiste en excavar un área mayor a la de la cimentación y a una profundidad por debajo del nivel de desplante de esta, y efectuar el relleno en capas de material compactado, de esta manera el área de sustentación crece. Para el mejoramiento del subsuelo, los materiales más recomendados son las arenas y las gravas bien graduadas con una pequeña porción de finos arcillosos para que estos últimos proporcionen cohesión entre las arenas y las gravas.

Para la zona de Petacalco, el tipo de suelo que se tiene resulta muy favorable para este proceso, ya que si a sus arenas y gravas se les agrega un poco de cal, el resultado de la compactación será un terreno bien cementado con una capacidad de carga alta.

Por estudios efectuados anteriormente, un mejoramiento del terreno en esta zona podría aumentar la capacidad de carga del terreno a una presión efectiva de 60 ton / m², pero aplicando un factor de seguridad de 2, la presión neta sobre el terreno sería de 30 ton / m²; capacidad que triplica la presión neta que tiene el terreno en forma natural.

La segunda opción para aumentar la capacidad de carga

del terreno, sería la de diseñar una cimentación compensada.

Las cimentaciones compensadas consisten en sustituir peso de terreno que se desaloja, por peso de estructura.

En el caso de la chimenea, la solución que se puede plantear es la de continuar el fuste de concreto hasta una cota por debajo del nivel de terreno natural, además se podría construir un segundo muro de concreto reforzado en el perímetro de la losa de cimentación, y al nivel del terreno natural colocar una losa tapa; de este modo el volumen de suelo que se retira es muy grande. En el espacio comprendido entre la continuación del fuste y el muro exterior en el borde de la losa (sección anular), se colocarían muros radiales con una altura desde la losa de cimentación hasta la losa tapa.

Para tomar la decisión final, se efectuó un cálculo estimativo de ambas alternativas. El costo de una losa de cimentación con suelo mejorado es un poco menor al de la cimentación compensada, además de que el proceso constructivo es más sencillo en la losa de cimentación.

Desde luego la cimentación compensada es una solución con mayor concepto de ingeniería, y el cálculo estimativo debería cambiarse por un cálculo exacto para evaluar en una forma real el costo total de la cimentación.

La solución de la cimentación de losa con suelo mejorado, es el tipo usual de cimentación que se emplea en México para este tipo de estructuras.

Por estas razones, la chimenea de concreto reforzado

para la C.T. Lázaro Cárdenas tendrá como cimentación una losa efectuando un mejoramiento del suelo a base de una compactación agregando a este algún material que aumente su cohesión.

La losa de cimentación para una chimenea, se convierte en una zapata aislada dada la forma de trabajo que tiene.

La zapata que se propone es de forma circular con espesor variable, iniciando en el perímetro del fuste con un peralte grande y disminuyendo en forma gradual conforme se acerca al perímetro exterior.

Díametro de losa propuesto = 46 m

Nivel de desplante de cimentación = -5.00 m

Propiedades prismáticas de la zapata:

Area de Contacto = 1661.903 m²

Inercia de la sección = 219786.608 m⁴

Módulo de sección = 9555.939 m³

Dado el espesor variable de la zapata, para la obtención del esfuerzo neto del terreno, se tomará un espesor constante de 3.25 m para obtener un volumen equivalente de concreto.

Volumen = 1661.903 m² x 3.25 m = 5401.185 m³

El peso del relleno será de:

Area = $\frac{3.1416 (46\text{m})^2}{4} - \frac{3.1416 (22.2\text{m})^2}{4} = 1274.827 \text{ m}^2$

Volumen = 1274.827 m² x 0.75 m = 956.120 m³

Peso relleno = 956.120 m³ x 1.8 ton / m³ = 1721.016 ton

$$\text{Esfuerzo por relleno} = \frac{1721.016 \text{ ton}}{1661.903 \text{ m}^2} = 1.036 \text{ ton / m}^2$$

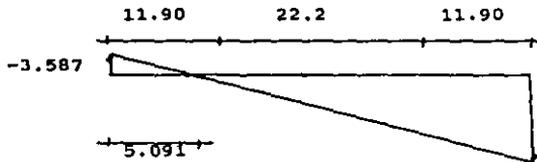
$$\text{Esfuerzo permisible} = 30 - 1.036 = 28.964 \text{ ton / m}^2$$

Esfuerzos en el Terreno:

$$f = (3.25\text{m} \times 2.4\text{ton/m}^3) + \frac{(8009.124 \text{ ton})}{1661.903 \text{ m}^2} - \frac{(154859.654 \text{ ton m})}{9555.939 \text{ m}^3}$$

$$f \text{ max} = 28.825 \text{ ton / m}^2$$

$$f \text{ min} = -3.587 \text{ ton / m}^2$$



A pesar de las dimensiones que tiene la zapata, existe una zona en la que el suelo se encuentra en tensión, esto se debe a que la resultante está fuera del cuarto medio de la zapata.

$$\text{excentricidad} = \frac{154859.654 \text{ ton m}}{12962.843 + 8009.124 \text{ ton}}$$

$$e = 7.384 \text{ m (del centro de la zapata)}$$

$$\text{cuarto medio} = 48\text{m} / 4 = 12\text{m} / 2 = 6\text{m (del centro de la zapata)}$$

$$7.386 \text{ m} > 6.0 \text{ m}$$

La situación implica calcular nuevamente el esfuerzo máximo de compresión en la zapata.

$$q \text{ max} = K \frac{P}{A}$$

donde:

K = factor en función de e / r

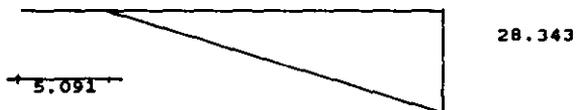
P = Carga Axial

A = Area de la zapata

para e / r = 0.308 k = 2.246

$$q \text{ max} = 2.246 \frac{(12962.843 + 8119.124 \text{ ton})}{1661.903 \text{ m}^2}$$

$$q \text{ max} = 28.343 \text{ ton / m}^2$$



El criterio que se utilizará para el diseño de las zapatas será el Elástico, debido a que el fuste de la chimenea está diseñado bajo el mismo criterio.

Las constantes de cálculo necesarias para el diseño elástico de estructuras que se utilizarán para la cimentación son:

$$f'c = 250 \text{ kg / cm}^2$$

$$K = 20.34$$

$$j = 0.86$$

$$f_s = 2100 \text{ kg / cm}^2$$

$$v = 8.38 \text{ kg / cm}^2 \text{ (esfuerzo permisible al corte en el concreto)}$$

En la siguiente tabla, se muestra el diseño de la zapata. La zapata se analizó en tramos para valuar sus momentos en diferentes puntos.

La distancia x que se señala en la tabla, es apartir del fuste hacia el extremo exterior de la zapata.

En la tabla se puede apreciar que existen dos momentos, los cuales se suman para realizar el diseño. Estos momentos son debidos a la forma circular de la zapata; esto es, para diseñar una zapata usualmente se considera una sección de 1m de ancho y el área tributaria de la sección permanece con el mismo ancho. En una zapata circular, el área tributaria para una sección de un metro, se va ensanchando conforme se aleja del centro (con la forma de una rebanada de pastel); de esta manera, el momento M_1 corresponde a una franja con un ancho constante de un metro y el momento M_2 , corresponde a el ensanchamiento de la sección.

Verificando que el volumen de concreto de la zapata sea semejante a un volumen con un espesor de 3.25m.

$$\text{Vol } 1 = \frac{1}{3} \times h_1 \times 3.1416 \times ((r_1)^2 + (r_2)^2 + r_1 r_2)$$

$$\text{Vol } 2 = 3.1416 \times r_1 \times h_2$$

donde :

ZAPATA DE CONCRETO

X	M1	M2	MTotal	df	V	dv	d	As
0.00	1812.230	225.687	3037.918	388	221.361	264	485	2L #12 @ 87
1.00	1534.174	876.448	2410.619	344	194.198	232	451	2L #12 @ 10.3
2.00	1276.907	615.103	1892.010	305	169.921	203	418	2L #12 @ 12.1
4.00	827.515	278.698	1106.213	233	127.604	152	352	2L #10 @ 17.4
6.00	489.593	105.288	574.880	168	90.966	109	258	2L #10 @ 27.3
8.00	208.699	27.943	236.642	108	58.008	69	219	#10 @ 25.4
10.00	150.367	3.000	53.367	51	27.485	33	193	mínimo
11.90	-	-	-	-	-	-	900	mínimo

$$A_s \text{ mín.} = 0.0018 (100)(60) = 10.8 = V_s \#10 @ 73 - \#10 @ 30$$

$$r1 = 23.00 \text{ m}$$

$$r2 = 11.10 \text{ m}$$

$$h1 = 4.00 \text{ m}$$

$$h2 = 1.00 \text{ m}$$

$$\text{Vol 1} = 3801.369 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol 2} = 1661.903 \text{ m}^3$$

$$\frac{5463.272 \text{ m}^3}{} = 5401.183 \text{ m}$$

Revisión de Volteo en la Zapata:

$$\text{Cortante en la base de la zapata} = 1850.591 \text{ ton}$$

Momento de Volteo

$$Mv = 154\ 859.654 \text{ ton m} + (1850.591 \text{ ton}) 5 \text{ m} =$$

$$Mv = 164\ 112.609 \text{ ton m}$$

Momento Equilibrante

$$Me = ((5463.272 \text{ m}^3 \times 2.4 \text{ ton/m}^3) + 8009.124 \text{ ton}) \times 23 \text{ m} =$$

$$Me = 485\ 782.466 \text{ ton m}$$

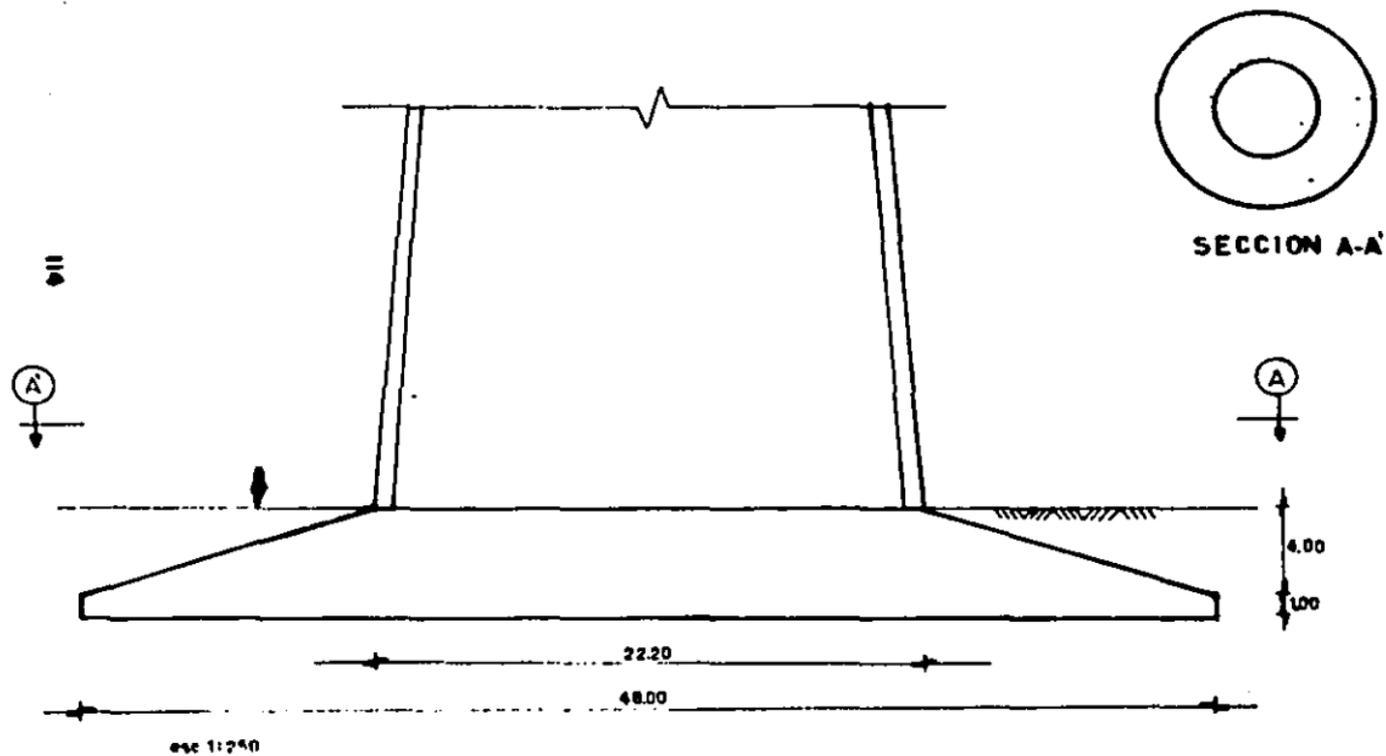
$$\text{F.S.} = \frac{485\ 782.466 \text{ ton m}}{164\ 112.609 \text{ ton m}} = 2.96 > 1.50 \quad \text{correcto}$$

4.2- Chimenea con Fuste de Estructura de Acero.

Cimentación

La chimenea con fuste de estructura de acero es una construcción, que apesar de sus dimensiones, la cimentación que necesita no es tan compleja como la cimentación para la chimenea de concreto, esto es debido a la ligereza que tiene

CIMENTACION. CHIMENEA DE CONCRETO REFORZADO



y a las condiciones de apoyo que se le consideraron en el análisis de la estructura.

Las descargas que tiene esta estructura hacia el terreno son pequeñas, por lo que no es necesario realizar ninguna modificación en la estructura del subsuelo, y mucho menos realizar una cimentación profunda; de tal manera que el uso de zapatas aisladas en cada columna es suficiente para soportar la estructura.

Una zapata aislada puede definirse como una ampliación de la base de una columna, que tiene por objeto transmitir la carga al subsuelo a una presión adecuada a las propiedades del suelo.

Las máximas solicitaciones a las que estas zapatas se encontrarán sujetas, están dadas por la combinación de carga muerta + sismo.

Durante la acción del sismo, las zapatas se encontrarán trabajando bajo diferentes esfuerzos, dependiendo de la dirección en que este actúe.

Los esfuerzos más críticos de compresión se encontrarán en la zapata que se localiza opuesta al punto por donde el sismo entre en la estructura.

En el análisis realizado en el tema III, estos esfuerzos corresponden a la junta número 1 y son los siguientes:

Carga Axial = 276.347 ton
Cortante en x = 63.513 ton
Cortante en z = 71.686 ton

En el caso contrario, la zapata se encontrará sujeta a esfuerzos de tensión, es decir, la estructura tratará de sacar la zapata del terreno.

Este caso corresponde en el modelo matemático a la junta número 3, y sus solicitaciones son:

Carga Axial = -138.415 ton
Cortante en x = 23.782 ton
Cortante en z = 31.928 ton

De esta manera, la zapata a diseñar deberá ser capaz de soportar ambas combinaciones de carga, ya que el sismo puede actuar en cualquier dirección y someter a una zapata a los dos tipos de solicitación.

Desplazando la zapata a -2.50m

Dado = 80 x 80 cm

a) Zapata trabajando a compresión:

$$M_x = 63.513 \text{ ton} \times 2.50 \text{ m} = 158.783 \text{ ton m}$$

$$M_z = 71.686 \text{ ton} \times 2.50 \text{ m} = 179.215 \text{ ton m}$$

Proponiendo una zapata de 9.0 x 9.0 m y un espesor de 70 cm

$$\text{- Peso propio de la zapata} = 2.4 \text{ ton/m}^3 \times 0.70 \text{ m} = 1.680 \text{ ton/m}^2$$

$$\text{- Relleno} = (2.50 \text{ m} - 0.70 \text{ m}) \times 1.8 \text{ ton/m}^3 = 3.240 \text{ ton/m}^2$$

$$\underline{4.920 \text{ ton/m}^2}$$

Presión Neta:

$$10 \text{ ton/m}^2 + (1.8 \text{ ton/m}^3 \times 1.50 \text{ m}) - 4.920 \text{ ton/m}^2 = 7.780 \text{ ton/m}^2$$

Propiedades Geométricas de la Zapata:

Area = 81.00 m²
Inercia = 546.750 m⁴
Módulo de sección = 121.500 m³

Esfuerzos en el terreno:

$$f = \frac{276.347 \text{ ton}}{81.0 \text{ m}^2} + \frac{158.783 \text{ ton m}}{121.5 \text{ m}^3} + \frac{179.215 \text{ ton m}}{121.5 \text{ m}^3}$$

$$f \text{ max} = 6.194 \text{ ton/m}^2$$

$$f \text{ min} = 0.630 \text{ ton/m}^2$$

$$f \text{ dado} = 3.659 \text{ ton/m}^2 \text{ (esfuerzo en el pano del dado)}$$

Momento en la zapata:

$$M = \frac{(3659 \text{ kg/m}) (4.10 \text{ m})^2}{2} + \frac{(6194 - 3659 \text{ kg/m}) (4.10 \text{ m})^2}{3}$$

$$M = 44\,958.345 \text{ kg m}$$

Peralta por flexión:

$$df = [(44958.345 \text{ kg m} \times 100) / (20.34 \times 100)]^{1/2}$$

$$df = 47 \text{ cm}$$

Revisión por penetración:

$$\text{Area} = (80 + 47 \text{ cm}) \times 4 \times 47 \text{ cm} = 23876 \text{ cm}^2$$

$$v = \frac{276347 \text{ kg}}{23876 \text{ cm}^2} = 11.574 \text{ kg/cm}^2 > 8.38 \text{ kg/cm}^2$$

no pasa, por lo tanto se propone un d = 60 cm

$$\text{Area} = (80 + 60 \text{ cm}) \times 4 \times 60 \text{ cm} = 33600 \text{ cm}^2$$

$$v = \frac{276347 \text{ kg}}{33600 \text{ cm}^2} = 8.225 \text{ kg/cm}^2 < 8.38 \text{ kg/cm}^2$$

$$d = 60 \text{ cm} \quad H = 65 \text{ cm}$$

Acero de refuerzo:

$$Asf = \frac{M}{fs j d} \quad Asf = \frac{44958345 \text{ kg cm}}{2100 \text{ kg/cm}^2 \times 0.86 \times 60 \text{ cm}}$$

$$Asf = 41.49 \text{ cm}^2$$

$$\text{sep Vs } \#8 = \frac{5.07 \text{ cm}^2 \times 100}{41.49 \text{ cm}^2} = 12 \text{ cm}$$

$$\text{Vs } \#8 @ 12 \text{ cm}$$

b) Zapata Trabajando a Tensión:

$$Mx = 23.782 \text{ ton} \times 2.50 \text{ m} = 59.455 \text{ ton m}$$

$$Mz = 31.928 \text{ ton} \times 2.50 \text{ m} = 79.820 \text{ ton m}$$

Como la zapata se encuentra sometida a una carga axial que tiende a sacarla, se verificará que el peso del material de relleno sea mayor que la carga axial.

$$\begin{aligned} \text{Peso de relleno} &= 1.8 \text{ ton/m}^3 (9.0 \times 9.0 \text{ m} \times (2.50 - 0.65 \text{ m})) = \\ &= 269.730 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$F.S. = \frac{269.730 \text{ ton}}{138.415 \text{ ton}} = 1.95 = 2.00 \text{ correcto}$$

Esfuerzos en el terreno:

$$f = \frac{269.730 - 138.415 \text{ ton}}{81.0 \text{ m}^2} + \frac{59.455 \text{ ton m}}{121.5 \text{ m}^3} + \frac{79.829 \text{ ton m}}{121.5 \text{ m}^3}$$

$$f \text{ max} = 2.767 \text{ ton/m}^2$$

$$f \text{ min} = 0.475 \text{ ton/m}^2$$

$$f \text{ dado} = 1.723 \text{ ton/m}^2$$

Momento en la zapata:

$$M = \frac{(1723 \text{ kg/m}) (4.1 \text{ m})^2}{2} + \frac{(2767 - 1723 \text{ kg/m}) (4.1 \text{ m})^2}{3}$$

$$M = 20331.695 \text{ kg m} < 44958.345 \text{ kg m}$$

Revisión por Penetración:

$$\text{Area} = 33600 \text{ cm}^2$$

$$v = \frac{269710 - 138415 \text{ kg}}{33600 \text{ cm}^2} = 3.908 \text{ kg/cm}^2 < 8.38 \text{ kg/cm}^2$$

Para la cimentación que soportará los tiros, también se utilizará una zapata aislada.

Esta zapata solo soportará el peso de los tiros, ya que estos no tienen fuerza cortante en su base ni momentos flexionantes.

Dados de 6.5 x 6.5 m

$$\text{Carga Axial} = 235.587 \text{ ton} \quad (\text{por tiro})$$

$$\text{Desplante a} \quad -0.50 \text{ m}$$

Proponiendo un zapata de 7.0 x 7.0 m

$$- \text{Peso propio de la zapata} = 2.4 \text{ ton/m}^3 \times 0.50 \text{ m} = 1.2 \text{ ton/m}^2$$

Presión neta:

$$10 \text{ ton/m}^2 - 1.2 \text{ ton/m}^2 = 8.80 \text{ ton/m}^2$$

Propiedades geométricas de la zapata:

$$\text{Area} = 42.25 \text{ m}^2$$

Esfuerzos en el terreno:

$$f = \frac{235.587 \text{ ton}}{42.25 \text{ m}^2} = 5.576 \text{ ton/m}^2$$

Revisión por penetración:

$$\text{Area} = (650 + 50 \text{ cm}) \times 4 \times 50 \text{ cm} = 140000 \text{ cm}^2$$

$$v = \frac{235587 \text{ ton}}{140000 \text{ cm}^2} = 1.683 \text{ kg/cm}^2 < 8.38 \text{ kg/cm}^2$$

Acero por Temperatura:

$$A_{st} = 0.0009 \text{ b H}$$

$$A_{st} = 0.0009 \times 100\text{cm} \times 50\text{cm} = 4.5 \text{ cm}^2$$

$$\text{Sep Vs \#4} = \frac{1.27 \times 100}{4.5 \text{ cm}^2} = 28\text{cm} \quad \text{Sep max} = d / 2$$

Vs # 4 @ 25 cm
(dos lechos)

CIMENTACION. CHIMENEA CON
FUSTE DE ESTRUCTURA DE
ACERO.

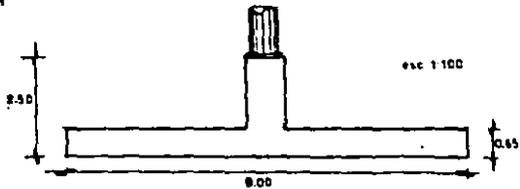
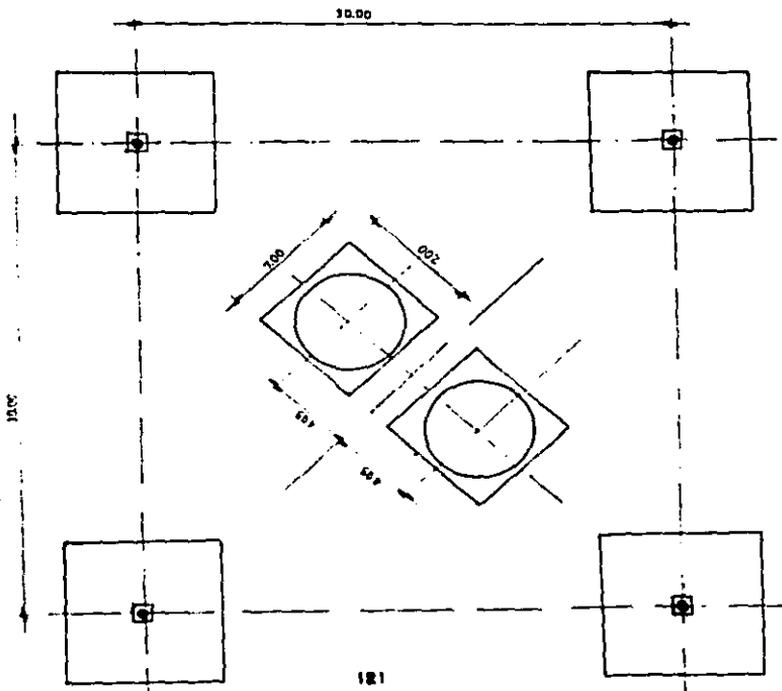


Fig 1.23C



V- ESTUDIO COMPARATIVO DE COSTO

En los cuatro capítulos anteriores, se muestra el aspecto técnico que implica el diseño de la estructura y de la cimentación de dos chimeneas industriales, las cuales difieren en muchos aspectos, como por ejemplo el material del que están constituidas, la geometría que presentan, etc.

Probablemente la comprensión de estos capítulos, presenta cierta dificultad para aquellas personas que no se encuentran relacionadas con la ingeniería; por este motivo una comparación de costos podría ayudar a visualizar las diferencias que existen entre estas dos estructuras.

Desde luego, el aspecto de costo de construcción es otra forma de evaluar un proyecto, ya que el abatir costos es uno de los objetivos que la Ingeniería Civil busca, sin olvidar que la seguridad de las vidas humanas es lo primordial.

Por estas razones se incluye este capítulo en la tesis, siendo un complemento al desarrollo técnico realizado.

Para analizar el costo de las chimeneas, solo se tomarán en cuenta los volúmenes de obra más importantes y significativos, puesto que un análisis detallado sería tan extenso que podría ser motivo de otro trabajo de investigación.

El costo de ambas estructuras será directo, es decir, solo contempla el costo de materiales, mano de obra y costo de equipo y/o herramientas necesarias en la realización del proceso constructivo; el costo directo excluye los gastos del constructor y sus utilidades.

5.1- Chimenea de Concreto Reforzado.

Costo del Fuste:

1) Concreto premezclado f'c = 250 kg/cm ² t.m.a 3/4" para fuste. Incluye suministro, fabricación y colocación.	3406.77 m ³	\$ 187516.71/m ³ \$ 638'826,302
2) Acero de refuerzo para estructura fy = 4200 kg/cm ² . Incluye suministro, habilitado y armado.	522.652 ton	\$ 1360854.86/ton \$ 711'253,514
3) Cimbra metálica deslizante para Fuste.	12723.45 m ²	\$ 31241.93/m ² \$ 397'505,134
4) Acero A-36. Incluye suministro, fabricación y montaje.	549.472 ton	\$1676949.10/ton \$ 2,020'380,576
Costo Directo del Fuste		\$ 3,767'965,526

Costo de Cimentación:

1) Excavación con equipo para cimentación a cualquier profundidad y para todo tipo de terreno.

15614.50 m3 \$ 3304.40/m3
\$ 51'596,554

2) Mejoramiento de subsuelo para cimentación con material producto de excavación compactado al 90% Proctor en capas de 20cm.

6939.78 m3 \$ 9229.91/m2
\$ 64'053,545

3) Plantilla de concreto f'c = 100 kg/cm2 t.m.a. 3/4" en espesor de 10cm. Incluye: suministro, fabricación y colocación.

166.19 m3 \$ 143859.82/m3
\$ 23'908,063

4) Cimbra en cimentación considerando 20% de desperdicio en 5 usos promedio.

144.51 m2 \$ 15126.45/m2
\$ 2'185,923

5) Acero de refuerzo en cimentación fy = 4200 kg/cm2. Incluye: suministro, habilitado y armado.

113.558 ton \$ 1'149,220.18/ton
\$ 130'503,145

6) Concreto premezclado f'c = 250 kg/cm2 t.m.a 1" para cimentación. Incluye suministro, fabricación y colocación.

5463.27m3 \$ 178873.41/m3
\$ 977'233,734

7) Relleno compactado para cimentación
con material producto de excavación en
capas no mayores de 20cm.

956.120 m3 \$ 6794.00/m3
\$ 6'495,879

Costo Directo de Cimentación \$ 1,255'976,843

TOTAL COSTO DIRECTO DE CHIMENEA DE CONCRETO REFORZADO:

\$ 5,023'942,369

Notas:

- a) El Área de cimbra deslizante cuantificada, comprende la cara interna y externa del fuste.
- b) El acero A-36 en el fuste, es el correspondiente a dos tiros de acero.

5.2- Chimenea con Fuste de Estructura de Acero

Costo del Fuste:

1) Acero A-36 para estructura (fuste, tiros,
y ductos interiores). Incluye suministro,
fabricación y montaje

1091.439 ton \$ 3676949.10/ton
\$ 4,013'165,649

Costo Directo del Fuste \$ 4,013'165,649

Costo de Cimentación:

1) Excavación con equipo para cimentación a cualquier profundidad y para todo tipo de terreno.

1064.00 m3 \$ 3304.40/m3
\$ 3'515,882

2) Plantilla de concreto f'c = 100 kg/cm2 t.m.a 3/4" en espesor de 10cm. Incluye suministro, fabricación y colocación.

42.20 m3 \$ 143859.82/m3
\$ 6'070,884

3) Cimbra en cimentación considerando 20% de desperdicio en 5 usos.

107.60 m2 \$ 15126.45/m2
\$ 1'627,606

4) Acero de refuerzo en cimentación fy = 4200 kg/cm2. Incluye suministro, habilitado y armado.

23.026 ton \$ 1149220.18/ton
\$ 26'461,943

5) Concreto premezclado f'c = 100 kg/cm2 t.m.a. 1" para cimentación. Incluye suministro, fabricación y colocación.

263.70 m3 \$ 178873.41/m3
\$ 47'168,918

6) Relleno compactado para cimentación con material producto de excavación en

capas no mayores de 20cm.

789.40 m3	\$ 6794.00.m3
	\$ 5'363,184

Costo Directo de Cimentación \$ 90'208,417

TOTAL COSTO DIRECTO DE CHIMENEA CON FUSTE DE ESTRUCTURA
DE ACERO :

\$ 4,103'374,066

Notas:

a) El volumen de acero A-36 incluye una adición del 10% al total de la estructura por el volumen necesario para conexiones especiales.

C O N C L U S I O N E S

La referencia más clara para evaluar las ventajas de una chimenea industrial con fuste de estructura de acero, sobre la chimenea de concreto reforzado, que hasta ahora se le ha podido denominar como convencional, es desde luego el estudio comparativo de costo.

Comparando ambos costos de construcción, se puede observar que la chimenea propuesta implica un ahorro de aproximadamente el 20% sobre la chimenea de concreto.

En nuestro país nunca se ha efectuado la construcción de este tipo de chimeneas; existen estructuras similares, de menor altura, que se utilizan como quemadores en las plantas de refinación de petróleo, y hasta ahora su comportamiento ha sido muy bueno.

La construcción de chimeneas con fuste de estructura de acero, ha tenido un gran desarrollo en otros países, con características sísmicas muy similares a las de México.

Este desarrollo se debe, además del menor costo, a las ventajas técnicas que estas chimeneas presentan.

La primera ventaja es la capacidad de la estructura para resistir la acción de los sismos; su bajo peso muerto provoca que las aceleraciones que esta estructura pueda tener sean de poca magnitud.

El problema de vibración, producto de la acción del viento sobre las chimeneas de acero que se construyen a base de placa rolada (palastro), es superado por la chimenea propuesta dada la forma geométrica que esta presenta; de esta manera la vibración pasa a ser un problema del pasado.

El poco peso muerto que estas estructuras desarrollan, repercute directamente en el costo de la cimentación, al mismo tiempo que la dificultad de construir cimentaciones grandes y profundas desaparece al utilizar cimentaciones superficiales.

Otro aspecto muy importante de las chimeneas con fuste de estructura de acero en relación a la cimentación, es el poco espacio que estas ocupan; una cimentación que ocupa mucha área restringe la ubicación de otras estructuras y equipos. En el caso de grandes plantas industriales, esta consideración es muy importante, ya que parte de la eficiencia de estas depende en muchas ocasiones de su arreglo general.

Con respecto a la construcción del fuste, la chimenea de concreto requiere que el colado se realice en forma continua para evitar las juntas frías, mientras que la chimenea con fuste de estructura de acero puede construirse de muchas maneras. La forma de erección, que parece ser la más viable, es utilizando una grúa trepadora dada la altura que estas chimeneas desarrollan.

El uso del acero como material de construcción tiene

como ventaja un control de calidad confiable; al construir con concreto se corre el riesgo de que este no cumpla con la resistencia de diseño que se pide, en cambio la calidad del acero siempre es constante.

Todas estas características mencionadas anteriormente, hacen de la Chimenea con Fuste de Estructura de Acero una opción factible para la construcción de chimeneas industriales.

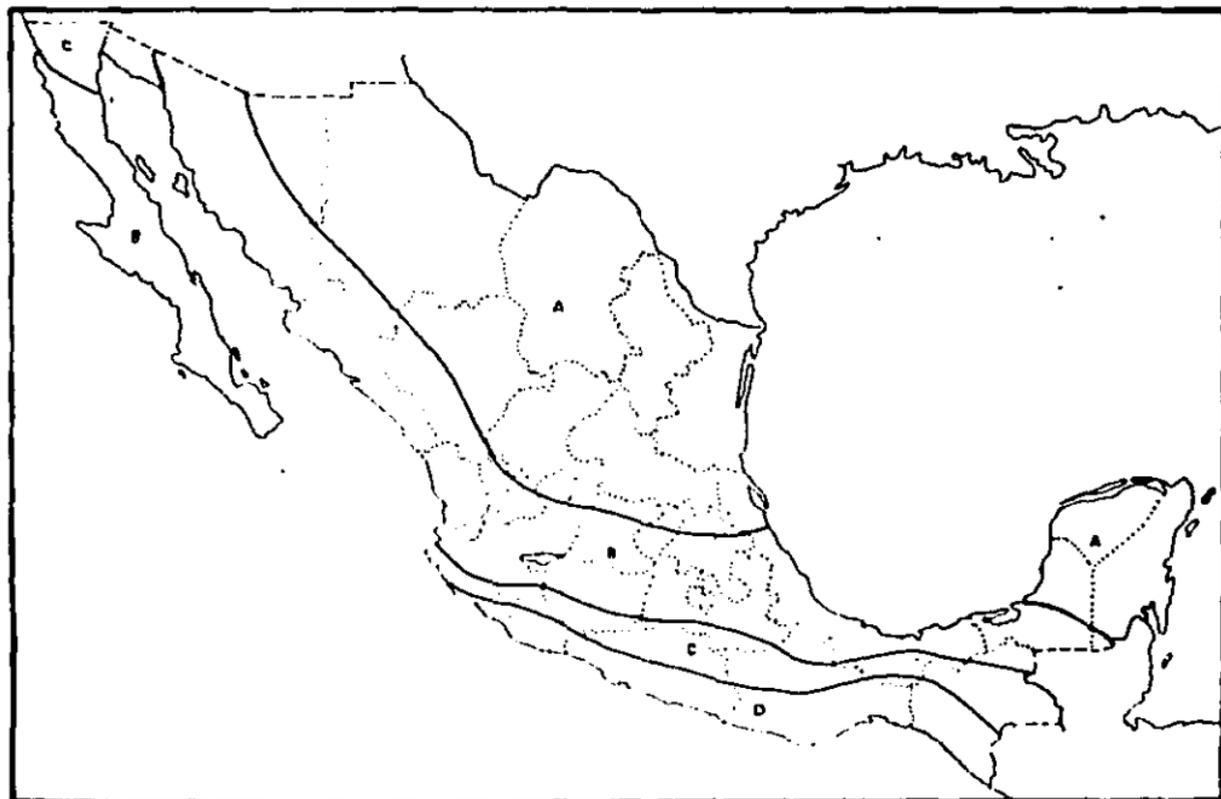
B I B L I O G R A F I A

- 1- "Manual para el Control de la Contaminación Ambiental"
Herbert F. Lund
Editorial Mc. Graw Hill
España, 1974
- 2- Tesis "Chimenea de Concreto para Hornos de Coque"
Héctor Antonio Pelayo Meza
Universidad de Guanajuato
Escuela de Ingeniería. 1970
- 3- Tesis "Proyectar una Chimenea para una Fábrica situada en la Ciudad de México"
Ángel Montoya Angulo
UNAM
Facultad de Ingeniería. 1965
- 4- "Handbook of Concrete Engineering"
Mark Fintel
Van Nostrand Reinhold Company
New York, 1974
Segunda Edición
- 5- "Workbook of Atmosphere Dispersion"
D. Bruce Turner
U.S. Department of Health, Education and Welfare
Cincinnati. Ohio, 1970
- 6- "Manual de Diseño de Obras Civiles"
Comisión Federal de Electricidad
C.2.7. Chimeneas
Centro Editorial C.F.E.
México D.F., 1981
- 7- "Método Stodola-Vianello-Newmark y de Holzer para el cálculo de Frecuencias y Configuraciones Modales"
M. en I. Enrique del Valle C.
División de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.
UNAM
- 8- "Manual de Diseño de Obras Civiles"
Comisión Federal de Electricidad
C.1.3. Diseño por Sismo
Centro Editorial C.F.E.
México D.F., 1981

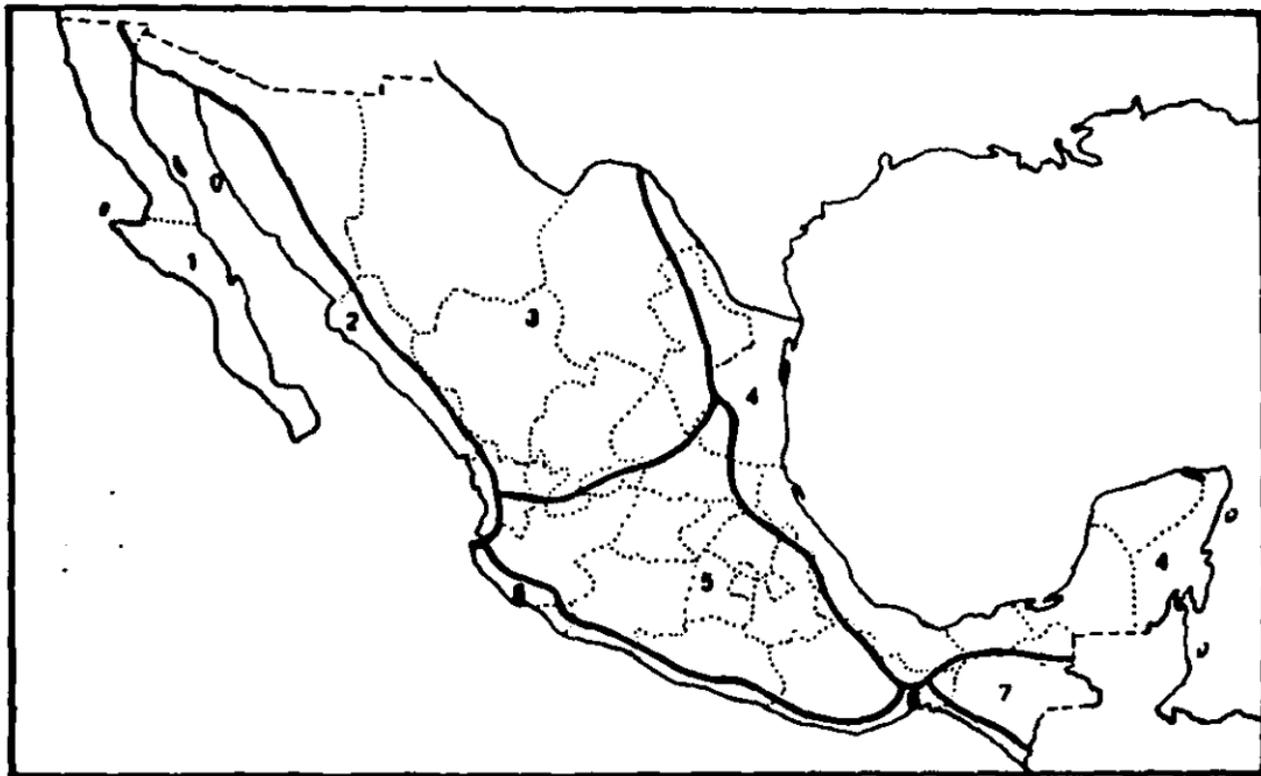
9- "Manual de Diseño de Obras Civiles"
Comisión Federal de Electricidad
C.1.4. Diseño por Viento
Centro Editorial C.F.E.
México D.F., 1981

10- "Ingeniería de Cimentaciones"
Ralph B. Peck, Walter E. Hanson, Thomas H. Thornburn
Editorial Limusa
Segunda Edición
México, 1982

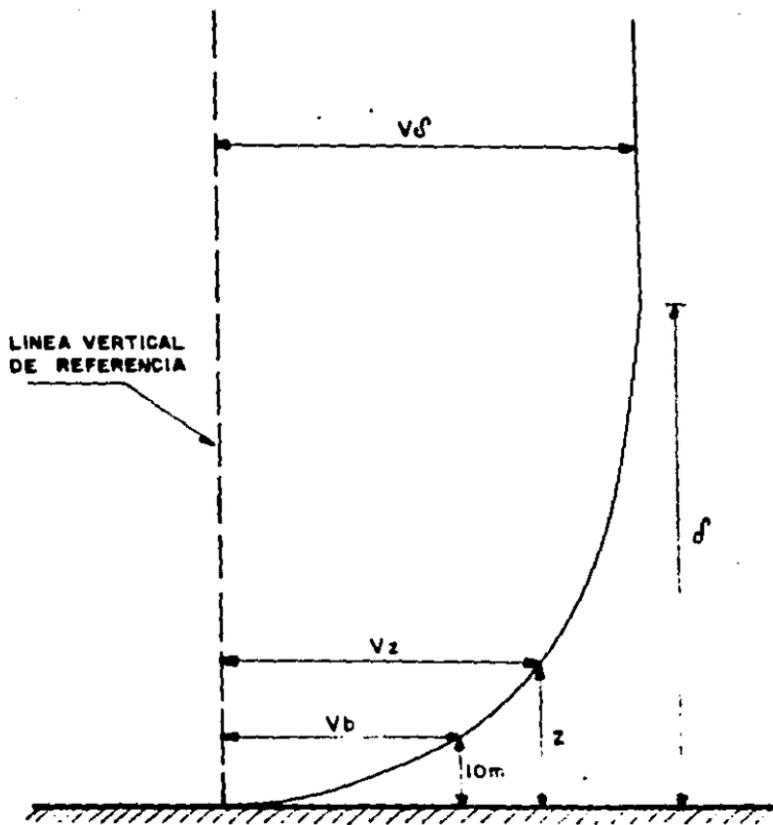
A P E N D I C E



REGIONALIZACION SISMICA DE LA REPUBLICA MEXICANA



REGIONALIZACION EOLICA DE LA REPUBLICA MEXICANA



VARIACION DE LA VELOCIDAD DE VIENTO RESPECTO A LA ALTURA.

```

LOAD"anadina2
OK
LIST
5 PRINT:PRINT:PRINT:PRINT
10 PRINT "PROGRAMA REALIZADO POR FERNANDO CRUZ VILLASANA":PRINT:PRINT
20 PRINT " UNIVERSIDAD LA SALLE FEBRERO 1989":PRINT:PRINT
30 PRINT " PROGRAMA PARA EL CALCULO DE FRECUENCIAS NATURALES Y CONFIGURACION
"
35 PRINT " MODALES POR EL METODO DE STODOLLA-VIANELLO-NEWMARK":PRINT:P
NT
40 PRINT "ESTE PROGRAMA UTILIZA EL MODELO DE LA ESTRUCTURA IDEALIZADA COMO UNA
EBIE"
45 PRINT "DE MASA UNIDAS POR RESORTES, SIN AMORTIGUAMIENTO, EN VIBRACION LIBRE
:PRINT
47 PRINT "EL PROGRAMA INCLUYE EL CALCULO DE LAS FUERZAS SISMICAS QUE ACTUAN EN
A ESTRU- TURA, DEACUERDO AL ESPECTRO DE DISENO DE LA COMISION FEDERAL DE ELEC
ICIDAD PARA LA REPUBLICA MEXICANA":PRINT:PRINT
49 INPUT "NUMERO DE NIVELES (MASAS CONCENTRADAS)";N:PRINT
50 INPUT "NUMERO DE MODOS A CALCULAR";O:PRINT:PRINT
51 INPUT "ZONA SISMICA EN LA REPUBLICA MEXICANA (A,B,C o D)";AS:PRINT
52 INPUT "TIPO DE SUELO (1,2 o 3)";TS:PRINT
53 INPUT "ESTRUCTURA DEL GRUPO A o B";BS:PRINT
54 INPUT "FACTOR DE DUCTILIDAD Q";FDQ:PRINT:PRINT:GOSUB 1700
55 PRINT "UNIDADES EN TONELADAS, METROS Y SEGUNDOS":PRINT:PRINT
56 K=1
60 DIM M(N),R(N),F(N),V(N),Y(N),DX(N),RX(N,O)
65 DIM MX(N),MXY(N),DXX(N),DXC(N),MDXC(N),XX(N),DXS(N),P(N),C(O),XS(N,O)
70 FOR I=1 TO N
80 PRINT "MASA: ";I;
90 INPUT M(I)
100 Y(I)=I
110 PRINT"RIGIDEZ TRAMO: ";I;
120 INPUT R(I)
130 NEXT I
135 PRINT
140 SV=0
150 FOR I=N TO 1 STEP-1
160 F(I)=M(I)*Y(I)
170 SV=SV+F(I)
180 V(I)=SV
190 NEXT I
200 X=0
210 FOR I=1 TO N
220 X=(V(I)/R(I))+X
230 DX(I)=X
240 NEXT I
250 SDX=0 : SY=0 : DXA=DX(1)
260 FOR I=1 TO N
270 SDX=SDX+DX(I)
280 SY=SY+Y(I)
290 DX(I)=DX(I)/DXA
300 NEXT I
310 FOR I=1 TO M
320 A= ABS (DX(I)-Y(I))
330 IF A>.005 THEN 360
340 NEXT I
350 GOTO 400
360 FOR I=1 TO M
370 Y(I)=DX(I)
380 NEXT I
390 GOTO 140
400 PRINT:PRINT:PRINT "MODO 1"
410 FOR I=1 TO N
420 PRINT "Y(0)=Y(I), V(0)=V(I), D(0)=DX(I), D(1)=DX(I), D(2)=DX(I),

```

```

424 XS(I,1)=DX(I)
425 NEXT I
430 W=(SY/SDX)^(1/2)
440 T=6.33185/W
450 PRINT PRINT "W=";W;" T=";T
470 B=0:C=X
480 FOR I=1 TO N
490 B=(M(I)*DX(I))+B
500 C=(M(I)*(DX(I)^2))+C
510 NEXT I
520 CP=B/C
530 PRINT:PRINT "COEFICIENTE DE PARTICIPACION MODO 1 =";CP
540 GOSUB 1430
542 PRINT "COEFICIENTE SISMICO BASICO=";CS
543 CS=(CS*EG)/FDQ
545 PRINT "COEFICIENTE SISMICO=";CS! G=9.810001*CS
550 FOR I=1 TO N
560 Z=((G*CP)/(W^2))*DX(I)
570 PRINT "X";I;"=";Z
575 RX(I,1)=Z
580 NEXT I
585 SCP=CP : IF G=1 THEN 1950
590 REM "CALCULO DE MODOS SUPERIORES"
600 Q=1 : C=0
610 FOR I=1 TO N
620 Y(I)=Q
630 Q=Q-1
635 C=(M(I)*(DX(I)^2))+C
640 NEXT I
645 C(N)=C
650 FOR I=1 TO N
660 F(I)=0
670 DX(I)=Y(I)
680 NEXT I
690 GOSUB 1310
700 FOR I=1 TO N
710 DX(I)=Y(I)+F(I)
715 NEXT I
720 FOR I=1 TO N
725 F(I)=M(I)*DX(I)
730 NEXT I
740 SV=0
750 FOR I=N TO 1 STEP -1
760 SV=SV+F(I)
770 V(I)=SV
780 NEXT I
790 X=0
800 SDX=0
810 FOR I=1 TO N
820 P(I)=0
830 K=(V(I)/R(I))*X
840 DX(I)=K
850 SDX=DX(I)+SDX
860 NEXT I
870 GOSUB 1310
880 SY=0
890 FOR I=1 TO N
910 XN(I)=DX(I)+F(I)
915 SY=XN(I)+SY
920 NEXT I
930 DXA=DX(I)
940 FOR I=1 TO N
950 DXS(I)=XN(I)/DXA
960 NEXT I
970 FOR I=1 TO N

```

```

1000 IF A=0 THEN 1020
1000 NEXT I
1010 GOTO 1000
1020 FOR I=1 TO N
1030 DX(I)=DXS(I)
1040 NEXT I
1050 GOTO 1020
1060 K=K+1
1070 PRINT:PRINT:PRINT "MODO":K;"="
1080 FOR I=1 TO N
1085 XS(I,K)=DXS(I)
1090 PRINT "X SUP";I;"=";DX(I);TAB(30) "X CALC";I;"=";DXS(I)
1100 NEXT I
1110 W=(SDX/SY)^(1/2)
1120 T=6.283185/W
1130 PRINT:PRINT "W=";W;" T=";T
1140 B=0 :U=0
1150 FOR I=1 TO N
1160 B=(M(I)*DXS(I))*B
1170 U=(M(I)*(DXS(I)^2))*U
1180 NEXT I
1190 CP=B/U
1200 PRINT:PRINT "COEFICIENTE DE PARTICIPACION MODO ";K;"=";CP
1210 SCP=CP-SCP
1215 GOSUB 1430
1216 PRINT "COEFICIENTE SISMICO BASICO=";CS
1217 CS=(CS+EG)/FDG
1218 PRINT "COEFICIENTE SISMICO=";CS:G=0.810001*CS
1220 FOR I=1 TO N
1230 Z-((G*CP)/(W^2))*DXS(I)
1235 RX(I,K)=Z
1240 PRINT "X";I;"=";Z
1250 NEXT I
1260 FOR I=1 TO N
1270 DX(I)=DXS(I)
1280 NEXT I
1290 IF O=K THEN 1520
1300 GOTO 590
1305 REM SUBROUTINA PARA LIMPIA DE MODOS
1310 H=0
1320 FOR J=1 TO K
1330 FOR I=1 TO N
1340 HXY(I)=H(I)*XS(I,J)*DXC(I)
1350 H=HXY(I)+H
1360 NEXT I
1370 E=H/C(J)
1380 FOR I=1 TO N
1390 P(I)=(-E*XS(I,J))*P(I)
1400 NEXT I
1410 NEXT J
1420 RETURN
1430 REM SUBROUTINA ESPECTRO DE DISENO
1440 IF T<TUNO THEN GOTO 1470
1450 IF T>TUNO AND T<TDOS THEN GOTO 1480
1460 IF T>TDOS THEN GOTO 1490
1470 CS=AO*((COE-AO)/TUNO)*T:RETURN
1480 CS=COE:RETURN
1490 CS=COE*((TDOS/T)^EPP)
1500 RETURN
1520 PRINT:PRINT:PRINT "SUMA TOTAL DE COEFICIENTES DE PARTICIPACION DE";K;"MOD
DE VIBRACION:"SCP
1530 PRINT:PRINT:PRINT "DESPLAZAMIENTOS, DESPLAZAMIENTOS MAXIMOS, CORTANT
Y FUERZAS DINAMICAS DE LA ESTRUCTURA ANALISADA":PRINT
1540 FOR I=1 TO N
1550 MAX=0
1560 FOR J=1 TO K

```

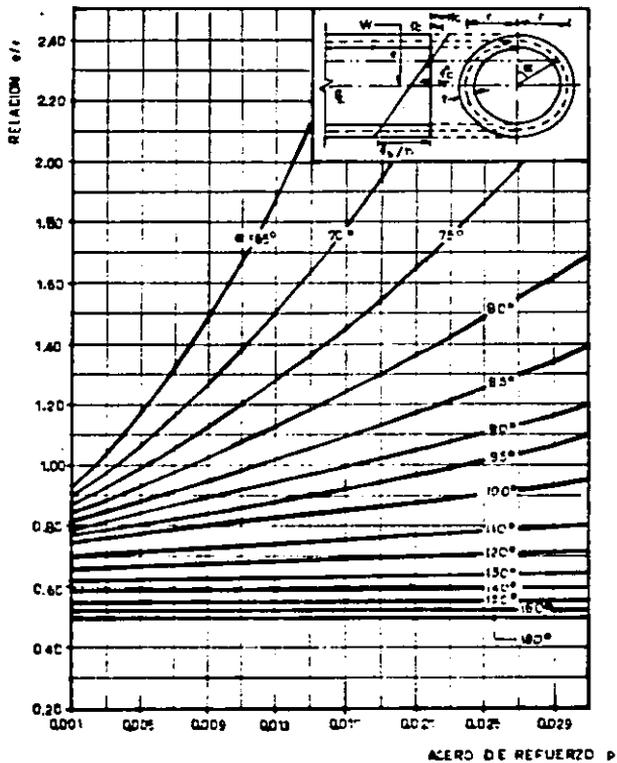
```

1570 MAX=(RX(I,J))^2*MAX
1580 NEXT J
1590 P(I)=MAX^.5
1595 DXC(I)=P(I)*FDQ
1600 NEXT I
1610 PRINT "TRAHO";TAB(10)"XMAX(m)";TAB(23)"XMAX*Q(m)";TAB(40)"DX(m)";TAB(52)"V
on";TAB(65)"F(ton)";
1620 FOR I=N TO 2 STEP -1
1630 J=I-1
1640 DX(I)=P(I)-P(J)
1650 V(I)=DX(I)*R(I)
1652 NEXT I
1653 F(N)=V(N)
1655 FOR I=N TO 2 STEP -1
1656 J=I-1
1657 F(J)=V(J)-V(I)
1658 NEXT I
1659 FOR I=N TO 2 STEP -1
1660 PRINT I;TAB(7) P(I);TAB(21) DXC(I);TAB(35) DX(I);TAB(49) V(I);TAB(63) F(I)
1670 NEXT I
1675 AA=P(1)*FDQ
1678 V(1)=P(1)*R(1)
1680 PRINT " 1";TAB(7) P(1);TAB(21) AA;TAB(35) P(1);TAB(49) V(1);TAB(63) V(1)-
2)
1690 PRINT:PRINT:PRINT " NOTAS:";PRINT "1- DESPLAZAMIENTOS MAXIMOS OBTENIDOS P
EL CRITERIO DE LA RAIZ CUADRADA DE LA SUMA DE LOS CUADRADOS";PRINT "2- CORTA
ES Y FUERZAS SISMICAS REDUCIDAS POR DUCTILIDAD";GOTO 1950
1700 REM SUBROUTINA PARA OBTENER DATOS DEL ESPECTRO DE DISENO
1705 IF B0="A" THEN EG=1.3
1707 IF B0="B" THEN EG=1
1710 IF A0="A" AND T0=1 THEN GOTO 1830
1720 IF A0="A" AND T0=2 THEN GOTO 1840
1730 IF A0="A" AND T0=3 THEN GOTO 1850
1740 IF A0="B" AND T0=1 THEN GOTO 1860
1750 IF A0="B" AND T0=2 THEN GOTO 1870
1760 IF A0="B" AND T0=3 THEN GOTO 1880
1770 IF A0="C" AND T0=1 THEN GOTO 1890
1780 IF A0="C" AND T0=2 THEN GOTO 1900
1790 IF A0="C" AND T0=3 THEN GOTO 1910
1800 IF A0="D" AND T0=1 THEN GOTO 1920
1810 IF A0="D" AND T0=2 THEN GOTO 1930
1820 IF A0="D" AND T0=3 THEN GOTO 1940
1830 COE=.00 : AO=.03 : TUNO=.3 : TDOS=.8 : EPP=.5 : RETURN
1840 COE=.12 : AO=.045 : TUNO=.55 : TDOS=2 : EPP=.667 : RETURN
1850 COE=.16 : AO=.06 : TUNO=.75 : TDOS=3.3 : EPP=1 : RETURN
1860 COE=.18 : AO=.03 : TUNO=.3 : TDOS=.8 : EPP=.5 : RETURN
1870 COE=.2 : AO=.045 : TUNO=.5 : TDOS=2 : EPP=.667 : RETURN
1880 COE=.24 : AO=.06 : TUNO=.8 : TDOS=3.3 : EPP=1 : RETURN
1890 COE=.24 : AO=.05 : TUNO=.25 : TDOS=.67 : EPP=.5 : RETURN
1900 COE=.3 : AO=.08 : TUNO=.45 : TDOS=1.6 : EPP=.667 : RETURN
1910 COE=.36 : AO=.1 : TUNO=.6 : TDOS=2.9 : EPP=1 : RETURN
1920 COE=.40 : AO=.9 : TUNO=.15 : TDOS=.55 : EPP=.5 : RETURN
1930 COE=.50 : AO=.14 : TUNO=.3 : TDOS=1.4 : EPP=.667 : RETURN
1940 COE=.84 : AO=.16 : TUNO=.45 : TDOS=2.7 : EPP=1 : RETURN
1950 PRINT:PRINT
1960 END

```

On

TABLA DE AYUDA DE DISEÑO PARA LA CHIMENEA DE
CONCRETO REFORZADO



Valores de α para $n=8$