

8
2ej.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



Escuela Nacional de Estudios Profesionales

Campus Acatlán

ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL
DE LA CIMENTACIÓN, FUSTE Y TIROS
DE LA CHIMENEA DE LAS UNIDADES 3 Y 4,
DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA
PRESIDENTE PLUTARCO ELÍAS CALLES.

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
I N G E N I E R O C I V I L
P R E S E N T A:
FRANCISCO JAVIER CHEANG WONG



ACATLÁN, ESTADO DE MÉXICO, AGOSTO DE 1998.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

764884



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTO

Este humilde trabajo, se lo dedico con todo mi cariño a todas aquellas personas que a lo largo de mi vida siempre me han apoyado de una forma incondicional, sobre todo en los momentos difíciles, y que de un modo u otro, me han impulsado a ser una mejor persona.

A mis padres:

Sra. Juana Wong de Cheang

Sr. Juan Cheang Che

A mis hermanos:

Mario Angel

Jorge Eduardo

Julia Angélica

Juan Carlos

Dolores Guadalupe

A mis profesores de la **Universidad Nacional Autónoma de México**, que les debo todos los conocimientos que me han impartido y contribuido para mi formación personal:

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES, CAMPUS ACATLÁN:

Ing. Miguel Zurita Esquivel

Ing. Raul Correa Arenas

Ing. Jorge Flores Núñez

Ing. Fernando Rivas Olivera

Ing. Alfonso D'Abbwrtr Pantoja

Ing. Hermenegildo Arcos Serrano

Ing. Jorge Díaz González

Ing. Hugo Hernández Barrios

Ing. Francisco Pérez Arellano

Ing. Leonardo Álvarez León

Asimismo, quisiera expresar mi más profundo agradecimiento al **Ing. Gerardo Morales Arreola**, que siempre me ha ayudado en todo lo posible para que yo alcanzara un mejor desarrollo profesional. Además, me permito hacer mención de algunas de las personas más allegadas a mi en **Comisión Federal de Electricidad**, a las que les agradezco muchísimo por haberme brindado su amistad:

COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD:

Ing. Luis Miranda Sánchez	Ing. Humberto Torres Feria
Ing. Martín Acosta García	Ing. Gastón Martínez Tejada
Ing. Alejandro Peña Bonilla	Ing. Francisco Anzures Rosas
Ing. Severiano Morín Torres	Ing. Enrique Elizondo Sámano
Ing. Florencio Álvarez León	Ing. Héctor Sepúlveda Guerrero
Ing. Alejandro Querea Jiménez	Ing. Camilo Ramírez Barrera
Ing. Abel Calvillo Téliz	Ing. Ramón Fernández Velázquez

y con una dedicatoria muy especial para el **Ing. Gabriel Oropeza González**, por todas sus finas atenciones que me ha brindado desde que tuve el gusto de conocerlo, tanto como ingeniero así como persona. Y a cada uno de los amigos que he cosechado a lo largo de mi vida y que me sería muy difícil mencionarlos a todos en este preciso instante, pero no me puedo olvidar de las personas más importantes y especiales para mí: a **Gerardo Plata Simón**, mi amigo de toda la vida, a **Ely Castañeda Sánchez**, a **Verónica Oropeza Gámez**, a **Cathy Arzate León**, a **Rubén Ramírez Velázquez** y a **Rosario Valencia**.

FRANCISCO JAVIER CHEANG WONG
Acatlán, Estado de México, agosto de 1998

ÍNDICE

<u>CAPÍTULOS</u>	<u>PÁGINA</u>
OBJETIVOS.	1
Objetivo general.	1
Objetivos específicos.	1
INTRODUCCIÓN.	2
Breve reseña histórica de la Comisión Federal de Electricidad.	2
DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO.	4
I. Localización general de la planta.	4
II. Vías de acceso.	4
III. Rangos de temperatura.	4
IV. Precipitación pluvial.	4
V. Características técnicas.	5
CAPÍTULO 1.	7
Clasificación general de las chimeneas para centrales termoeléctricas.	7
1.1. Por el flujo de su emisión de gases.	8
1.1.1. Chimeneas de tiro natural.	8
1.1.2. Chimeneas de tiro inducido.	8
1.1.3. Chimeneas de tiro forzado.	8
1.2. De acuerdo con el número de tiros de la chimenea.	8
1.2.1. Chimeneas de tiro simple.	10
1.2.2. Chimeneas de tiros múltiples.	10
1.3. Por su resistencia a solicitaciones accidentales.	10
1.3.1. Chimeneas autoportantes.	10
1.3.2. Chimeneas no autoportantes.	10

1.4. Dependiendo de la clase de materiales utilizados en su construcción.	10
1.4.1. Chimeneas de concreto reforzado monolítico.	10
1.4.2. Chimeneas de acero.	12
1.4.3. Chimeneas de mampostería.	12
1.4.4. Chimeneas construidas con elementos prefabricados.	12
1.5. Con respecto al tipo de revestimiento interior de la chimenea.	12
1.5.1. Chimeneas con revestimientos integrados.	12
1.5.2. Chimeneas con revestimientos soportados.	12
1.5.3. Chimeneas con revestimiento independiente.	12
1.5.3.1. Chimeneas con revestimientos libres.	14
1.5.3.2. Chimeneas con revestimientos estabilizados.	14
1.5.3.3. Chimeneas con revestimientos suspendidos.	14
BIBLIOGRAFÍA.	15
CAPÍTULO 2.	16
Consideraciones básicas para el diseño de chimeneas.	16
2.1. Contaminantes emitidos por centrales termoeléctricas convencionales.	16
2.1.1. Procedimientos para abatir la contaminación atmosférica.	17
2.1.2. Determinación de la altura y diámetro interior del fuste.	18
2.2. Viento.	19
2.2.1. Perfil de velocidades del viento medio.	19
2.2.2. Presiones y succiones estacionarias.	20
2.2.3. Ovalización debida a la distribución azimutal de presiones y succiones.	21
2.2.4. Empujes paralelos al viento.	22
2.2.4.1. Factor de pico.	22

2.2.4.2.	Factor de rugosidad.	23
2.2.4.3.	Turbulencia de fondo.	23
2.2.4.4.	Término debido a la resonancia de la estructura.	23
2.2.4.5.	Empujes dinámicos transversales.	24
2.2.4.6.	Efectos de proximidad.	25
2.2.4.7.	Criterios sobre el desprendimiento de vórtices.	25
2.2.4.8.	Esfuerzos por viento más carga muerta.	26
2.3.	Sismo.	27
2.3.1.	Generalidades.	27
2.3.1.1.	Métodos de análisis.	28
2.3.2.	Solicitaciones en el fuste.	31
2.3.2.1.	Solicitaciones globales.	31
2.3.2.2.	Solicitaciones locales.	31
2.3.2.3.	Solicitaciones térmicas.	31
2.3.2.4.	Combinación de solicitaciones.	32
2.3.3.	Evaluación de esfuerzos.	32
2.3.3.1.	Esfuerzos por viento más carga muerta para secciones sin orificios.	32
2.3.3.2.	Esfuerzos por viento más carga muerta para secciones con un orificio o 2 orificios diametralmente opuestos.	33
2.3.3.3.	Esfuerzos por viento más carga muerta para secciones con 2 orificios iguales no diametralmente opuestos.	34
2.3.3.4.	Esfuerzos por solicitaciones globales de sismo más carga muerta.	36
2.3.3.5.	Esfuerzos térmicos.	36
2.3.3.6.	Esfuerzos térmicos verticales.	38
2.3.3.7.	Esfuerzos térmicos circunferenciales.	39
2.3.3.8.	Esfuerzos combinados por carga muerta, temperatura y acciones horizontales (viento o sismo).	40
2.3.3.9.	Esfuerzos admisibles.	41

BIBLIOGRAFÍA.

42

CAPÍTULO 3.	43
Análisis y diseño estructural de la cimentación, fuste y tiros.	43
3.1. Diseño de la cimentación de la chimenea.	45
3.1.1. Bajo condición de carga permanente.	45
3.1.2. Dimensiones de la zapata.	46
3.1.3. Bajo condición de carga permanente + sismo.	47
3.1.4. Dimensiones de la zapata.	48
3.2. Análisis del fuste.	48
3.2.1. Análisis de rigideces del fuste.	48
3.2.1.1. Análisis de marcos planos.	48
3.2.2. Análisis sísmico del fuste.	52
3.2.3. Análisis eólico del fuste.	54
3.2.3.1. Análisis de viento estático.	54
3.2.3.2. Análisis de viento dinámico.	55
3.2.3.3. Comparación efectos de viento estático, dinámico y sismo.	56
3.2.4. Diseño de las secciones del fuste.	56
3.3. Análisis de los tiros.	74
3.3.1. Análisis de rigideces de los tiros.	74
3.3.1.1. Análisis de marcos planos.	74
3.3.2. Diseño sísmico de los tiros.	77
3.3.3. Especificaciones técnicas de los tiros.	77
3.3.3.1. Resultado de esfuerzos.	78
3.3.4. Diseño de las trabes para los tiros.	79
3.4. Análisis de la losa de cubierta.	86
3.4.1. Análisis de cargas.	86

BIBLIOGRAFÍA.	97
CAPÍTULO 4.	98
Procedimiento constructivo de la chimenea.	99
4.1. Procedimiento constructivo para el fuste de la chimenea de las unidades 3 y 4.	99
4.1.1. Objetivo.	99
4.1.2. Alcance.	99
4.1.3. Definiciones.	99
4.1.4. Referencias.	99
4.1.5. Responsabilidades.	100
4.1.6. Requisitos previos.	100
4.1.7. Procedimiento.	100
4.1.8. Control de verticalidad.	101
4.1.9. Alumbrado general.	102
4.1.10. Seguridad.	102
4.2. Observaciones para el colado del fuste.	103
4.3. Índice del procedimiento a seguir durante la construcción.	103
4.3.1. Materiales.	104
4.3.1.1. Cemento.	104
4.3.1.2. Tipos de agregados.	105
4.3.2. Armado.	107
4.3.2.1. Acero de refuerzo.	107
4.3.3. Cimbra y equipo para deslizado.	109
4.3.3.1. Diseño de cimbras.	109
4.3.3.2. Descimbrado y retiro de puntales.	110
4.3.3.3. Relación de los elementos de la cimbra deslizante.	110
4.3.4. Equipo para deslizado, respaldo y lista de refacciones para planta de concreto.	111
4.3.5. Fabricación de concreto.	112

4.3.5.1. Producción.	112
4.3.5.2. Temperaturas de colado.	113
4.3.5.3. Posterior al colado.	114
4.3.5.4. Descripción sintética del proceso de dosificación con un sistema de bacheo en seco.	115
4.3.6. Transporte de concreto.	116
4.3.6.1. Fallas mecánicas.	116
4.3.7. Colocación y compactación de concreto.	116
4.3.7.1. Colocación de concreto.	116
4.3.7.2. Compactación de concreto.	116
4.3.8. Pruebas al concreto.	117
4.3.8.1. Método de prueba de revenimiento para concreto hidráulico.	117
4.3.8.2. Control de temperatura del concreto.	118
4.3.8.3. Cilindros para pruebas de resistencia a la compresión.	119
4.3.8.4. Fabricación de los especímenes.	120
4.3.8.5. Evaluación y aceptación del concreto.	123
4.3.9. Control del tiempo de fraguado para diferentes temperaturas.	125
4.3.10. Control de izaje y velocidad de alzado.	125
4.3.10.1. Elementos del sistema.	125
4.3.11. Tratamiento de junta fría.	128
4.3.12. Reparaciones, acabado y curado.	128
4.3.13. Protección del concreto contra lluvia.	129
4.3.14. Alumbrado general.	129
4.3.15. Seguridad.	129
4.3.16. Control de verticalidad.	130
4.3.17. Anexos.	130
BIBLIOGRAFÍA.	138
CAPÍTULO 5.	140

Actividades de aseguramiento de calidad que se deben aplicar durante la construcción.	140
5.1. Chimeneas de concreto reforzado.	140
5.1.1. Especificaciones de los materiales.	140
5.1.1.1. Generalidades.	140
5.1.1.2. Agregados pétreos.	141
5.1.1.3. Aditivos.	142
5.1.1.4. Concreto.	144
5.1.1.5. Acero de refuerzo.	148
5.1.1.6. Agua.	150
5.1.1.7. Cimbra.	151
5.1.1.8. Acero para los tiros.	153
5.1.1.9. Acero de usos múltiples.	153
5.1.2. Propiedades térmicas de los materiales.	154
5.1.2.1. Coeficientes de conductividad térmica C_b y C_c .	154
5.1.2.2. Coeficientes de transmisión superficial del calor y de la radiación.	154
5.1.3. Especificaciones para el diseño del fuste.	154
5.1.3.1. Espesor mínimo del fuste.	154
5.1.3.2. Refuerzo adicional en orificios.	155
5.1.3.3. Refuerzos verticales en orificios.	155
5.1.3.4. Refuerzos horizontales en orificios.	155
5.1.3.5. Refuerzos en esquinas en orificios.	156
5.1.3.6. Orificios de construcción.	156
5.1.3.7. Ménsulas.	156
5.1.3.8. Refuerzo adicional en la punta.	156
5.1.3.9. Construcción del fuste.	156
5.1.3.10. Tolerancias para estructuras de concreto reforzado.	157
5.1.3.11. Estructuras de concreto masivo.	158
5.1.4. Accesorios.	158
5.1.4.1. Protección temporal contra descargas eléctricas.	158
5.1.4.2. Protección permanente contra descargas eléctricas.	159

5.1.4.3. Escaleras y plataformas.	159
5.2. Chimeneas de acero.	159
5.2.1. Especificaciones de los materiales.	159
5.2.1.1. Generalidades.	159
5.2.2. Dimensiones mínimas del fuste.	160
5.2.3. Revestimientos.	162
5.2.4. Detalles especiales.	162
5.2.5. Cimentaciones.	163
5.3. Chimeneas en general.	163
5.3.1. Materiales.	163
5.3.2. Fuste.	164
BIBLIOGRAFÍA.	165
CONCLUSIONES.	172
ORGANISMOS CONSULTADOS.	174
Anexo I. Tablas.	175
Anexo II. Gráficas.	184
Anexo III. Fotografías.	189
Anexo IV Planos	199

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Establecer los criterios para lograr el perfeccionamiento en el diseño de la estructura de las chimeneas para centrales termoeléctricas y plantas generadoras de energía eléctrica.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- I. Establecer las bases para el diseño óptimo de las chimeneas para centrales termoeléctricas.
- II. Realizar estudios comparativos entre los diseños de chimeneas construídas anteriormente y chimeneas construídas en años recientes.
- III. Creación de criterios de construcción basados en requerimientos enfocados a la protección ambiental.
- IV. Buscar el diseño óptimo que combine el costo más económico posible y las mejores condiciones de seguridad durante su operación.

INTRODUCCIÓN

BREVE RESEÑA HISTÓRICA DE LA COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD.

Hasta el año de 1925, México carecía de una legislación específica en materia de energía eléctrica, y la mayoría de concesionarios eran poderosos consorcios de nacionalidad extranjera. Fué en 1926, cuando se promulgó el **Código Nacional Eléctrico**, y que tuvo como consecuencia que se expidiera la **Ley de la Industria Eléctrica**, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 21 de febrero de 1939. Pero 2 años antes, el 14 de agosto de 1937, fué creada la **Comisión Federal de Electricidad**, gracias a un decreto del entonces Presidente de la República, General Lázaro Cárdenas Del Río. A partir de ese momento, dio inició a la creación de modernas centrales electrogeneradoras, la primera de las cuales, fué la Central Hidroeléctrica del Infiernillo, cuya cortina fué construida sobre el embalse del Río Balsas, en el Estado de Michoacán. Con la creación de la **C.F.E.**, se frenó el crecimiento de las compañías extranjeras, y al concederle la utilización del uso del agua al sector eléctrico, se rescataron para México los derechos que durante más de 4 décadas se otorgaron a las empresas extranjeras. En 1938, se creó la **Comisión Nacional de Tarifas** y durante el periodo que duró la Segunda Guerra Mundial (del año de 1939 a 1945), el gobierno adquirió la propiedad de la **Compañía Eléctrica de Chapala**. Para el año de 1960, la **C.F.E.** ya ocupaba el 40% de la capacidad de generación de energía en el país, y el restante 60% continuaba en poder de compañías extranjeras.

En ese mismo año, se iniciaba la nacionalización de la industria eléctrica, mediante la compra por parte del gobierno mexicano, de la empresa **Mexican Light & Power Co.** y de la **American & Foreign Power Co.** Dicha compra de los consorcios extranjeros, fué dada a conocer al pueblo de México, por medio del Presidente Adolfo López Mateos, durante la lectura de su segundo informe de gobierno. La capacidad instalada del país en ese año, era de 1'200'000 KW en plantas hidroeléctricas; 1'095'000 KW en centrales termoeléctricas; 12'000 KW en las carboeléctricas y 500 KW en geotermoeléctricas. Además, envió al Senado de la República, su iniciativa de ley para incorporar el sector eléctrico al Artículo 127 Constitucional, estableciendo el derecho inalienable y exclusivo del Estado de

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

I. LOCALIZACIÓN GENERAL DE LA PLANTA.

La Central Termoeléctrica Presidente Plutarco Elías Calles, está ubicada en la población de Petacalco, perteneciente al Municipio de La Unión, en el Estado de Guerrero. Se localiza en el kilómetro 28.00 de la Carretera Federal 200, Lázaro Cárdenas-Zihuatanejo, al sureste del Puerto de Lázaro Cárdenas, del Estado de Michoacán.

II. VÍAS DE ACCESO.

Su acceso por tierra, se realiza por la Carretera Lázaro Cárdenas-Zihuatanejo, por el tramo Lázaro Cárdenas-La Unión, Guerrero. Además, cuenta con acceso aéreo, por medio del Aeropuerto de Ixtapa Zihuatanejo, localizado a 82 km. de la termoeléctrica y del Aeropuerto de Lázaro Cárdenas, situado a 20 km. de la central. Las rutas aéreas más importantes, tienen destino a la Ciudad de México, Guadalajara, Monterrey, Manzanillo y Puerto Vallarta. También cuenta con llegadas por medio del ferrocarril, cuya Estación Lázaro Cárdenas se sitúa a 38 km. de la Ciudad de Lázaro Cárdenas. Su trayecto más importante, es la ruta Apatzingán-Lázaro Cárdenas.

III. RANGOS DE TEMPERATURA.

Temperatura máxima: 38 grados centígrados.

Temperatura media: 32 grados centígrados.

Temperatura mínima: 21 grados centígrados.

IV. PRECIPITACIÓN PLUVIAL.

generar, distribuir y abastecer la energía eléctrica. Dicho proyecto de ley, fué aprobado con una mayoría de 115 votos a favor y 3 en contra; para ser turnado posteriormente a las Cámaras Legislativas de los Estados, para otorgarle su autorización. La publicación definitiva de esta ley, fué dada a conocer en el *Diario Oficial de la Federación* el 23 de diciembre de 1960, hecho con el cual, la nacionalización de la industria eléctrica quedó consumada jurídica y financieramente.

En la actualidad, ante el constante crecimiento de la demanda de energía, la *C.F.E.* se ha visto en la necesidad de crear una serie de servicios para poder satisfacer el consumo nacional. Así fué como se creó el *S.E.N.I. (Sistema Eléctrico Nacional Interconectado)*, que es el encargado de efectuar la distribución de la electricidad producida en las centrales de todo el país; además de un instituto que estudia y analiza los problemas resultantes por la gran demanda del fluido eléctrico, llamado *Centro Nacional de Control de Energía (CENACE)*. Todo esto hace que hoy en día la *C.F.E.* sea una de las 10 empresas generadoras de energía eléctrica más grandes del mundo, ya que cuenta con 158 centrales termoeléctricas, hidroeléctricas, carboeléctricas y geotermoeléctricas, además de una central nucleoelectrica y una eoloelectrica.

Precipitación media anual: 1762.3 mm.

V. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.

Una central termoeléctrica, es una obra con instalaciones civiles y equipos electromecánicos, que cumplen con la finalidad de producir energía eléctrica a partir de la energía cinética del vapor producido por un combustible inerte. Dicho combustible puede ser combustóleo, carbón o gas natural. Las centrales termoeléctricas en nuestro país, ocupan un lugar preponderante en la generación de energía eléctrica, ya que de ellas proviene el 54.02% de toda la electricidad que se consume en México; a diferencia de las centrales hidroeléctricas, que contribuyen con un 28.82%, las carboeléctricas (6.00%), las centrales de tipo dual (6.64%), las plantas geotermoeléctricas (2.38%), las eoloeléctricas (0.01%) y finalmente, la nucleoelectrica de Laguna Verde, que produce un 2.13% del total de toda la energía eléctrica del país. En el caso de la Central Termoeléctrica Presidente Plutarco Elías Calles, es una planta de tipo dual, ya que esta central posee la capacidad instalada para operar con combustóleo, y en un futuro próximo, también tendrá las instalaciones necesarias para poder operar con carbón.

Esta central termoeléctrica se compone en su instalación electromecánica, por 6 generadores de vapor para quemar tanto carbón como combustóleo, un turbo generador con vapor sobrecalentado y vapor recalentado, ambos a una temperatura de 540° centígrados. Su sistema de enfriamiento para los condensadores, será por medio de agua tomada del Río Balsas, a partir de la desembocadura de la descarga de la Central Hidroeléctrica José María Morelos, "La Villita". Cada una de las 6 unidades generadoras que componen esta central, producirán 350 mega watts, garantizando una producción total de 2'100 mega watts, con lo que se cubrirán las necesidades de los estados de Guerrero, Michoacán, Colima, Morelos, parte de Jalisco y el Estado de México. A estos generadores de vapor, se les conoce con el nombre de tipo intemperie, además de contar con un edificio de control localizado entre ellos. Los turbogeneradores son de tipo interior, los cuales se ubican dentro de la casa de máquinas, junto con los demás equipos auxiliares del ciclo.

La salida del generador, es a través del transformador de potencia, que cumple con la finalidad de elevar la tensión de 20 Kv hasta 230 Kv, a través de buses de fase aislada hasta una subestación de hexafluoruro de azufre, conectada a otra subestación de potencia en Lázaro Cárdenas. El resto de los equipos auxiliares, serán enfriados mediante un sistema cerrado de agua desmineralizada. La transmisión de la energía generada, será por medio de líneas de transmisión de 230 Kv y 400 Kv, siendo esta posteriormente distribuida por el **S.E.N.I. (Sistema Eléctrico Nacional Interconectado)**. Las centrales termoeléctricas, están provistas de instalaciones civiles como los canales de llamada u obras de toma; canales de descarga u obras de descarga; chimeneas de concreto armado para arrojar los

gases a la atmósfera; pedestales de concreto armado para los generadores; silos de transferencia para almacenar los distintos tipos de combustibles; tanques de almacenamiento de combustóleo, y próximamente, una banda transportadora de carbón desde la Ciudad de Lázaro Cárdenas. El agua de enfriamiento que se toma del Río Balsas, llega por medio de un canal trapezoidal abierto hasta entrar a un cárcamo de bombeo. Su conducción se hace por medio de ductos de concreto y tuberías de acero hasta depositarse en los condensadores. El agua caliente que sale de la casa de máquinas, se conduce por un canal rectangular que, al salir de la planta, cambia su sección a trapezoidal nuevamente, hasta descargar en el mar.

Los combustibles para la termoeléctrica, se recibirán en el Puerto de **PEMEX** y en el Puerto de **C.F.E.** El combustóleo se bombeará desde los buques tanque hasta los tanques de almacenamiento de uso diario de la planta; el carbón llegará por una banda transportadora, hasta los silos de transferencia, de donde se extraerá el carbón para llevarlo a los pulverizadores y de ahí hasta los generadores. Por cada 2 unidades generadoras de energía, les corresponde una chimenea, que cumple con la finalidad de desalojar los gases emanados de la incineración de combustibles inorgánicos, tales como el carbón ó combustóleo, como es el caso de la C.T. Petacalco. Las chimeneas de la C.T. Presidente Plutarco Elías Calles, se ubicarán en la parte posterior de los generadores. Todas ellas, se componen por un fuste de concreto reforzado de 120.00 m. de altura, que soporta a los 2 tiros de acero al carbón (uno por cada unidad generadora).

Cada uno de los tiros, consta de 4 tramos sostenidos en igual número de plataformas interconectadas al fuste de la chimenea. Cada tiro posee apoyos guiados en el extremo inferior de cada tramo, y una junta expansiva de elastómeros de flúor, con el objeto de absorber las expansiones longitudinales sufridas por el tiro, a causa de los efectos por temperatura. La cimentación de la chimenea de las unidades 3 y 4, se compone de una zapata de concreto armado de sección octagonal, desplantada a 4.00 m. de profundidad, a partir del N.P.T., con el propósito de soportar al máximo los efectos de volteo generados por un posible sismo, ya que el estado de Guerrero se localiza en una zona de alta sismicidad. Para realizar labores de inspección y mantenimiento de la chimenea, se ha construido en el interior del fuste, una escalera marina que llega hasta la cubierta de la chimenea. Además, se cuenta con un elevador de piñón y cremallera con una capacidad de carga de 400.00 kg. y que llega hasta la última de las 5 plataformas, situada en el N.P.T. +113.50 m. La cubierta de la chimenea consiste de una losa de concreto armado, protegida con loseta antiácida, para disminuir los efectos de la corrosión a causa de los gases. En los tiros de acero, se ha colocado un aislamiento de fibra de vidrio de 2" de espesor, sujeto con tuercas y pernos soldados al tiro de la chimenea.

CLASIFICACIÓN GENERAL DE LAS CHIMENEAS PARA CENTRALES TERMOELÉCTRICAS

Para el cálculo de las dimensiones de una chimenea, se cuenta con manuales de especificaciones tanto estructurales, como especificaciones establecidas por la legislación mexicana en lo referente a la contaminación del aire y la emisión de partículas sólidas a la atmósfera. Para realizar el diseño y construcción de una chimenea, así como su cimentación, se deben de acatar las normas establecidas en reglamentos, tanto locales, estatales y federales; en los apartados referentes a materiales, procesos constructivos y aseguramiento de calidad. Dentro de las especificaciones establecidas por la legislación mexicana que rigen la construcción de chimeneas de tipo industrial, se deben de tomar en consideración las reglamentaciones implantadas por 2 instituciones principalmente: la *Dirección General de Aeronáutica Civil* y por la *Secretaría de Salud* (antes *Secretaría de Salubridad y Asistencia*). En el caso de la *Dirección General de Aeronáutica Civil*, sus estatutos se abocan a la reglamentación de la altura y localización de las chimeneas, con respecto a instalaciones aeroportuarias. Para ello, la chimenea deberá de satisfacer las normas de altura, localización y señalamientos luminosos diurnos y nocturnos, tanto en su construcción como durante su operación. Si la estructura de la chimenea satisface todos estos requerimientos, la *D.G.A.C.* expedirá una licencia en donde autorice el funcionamiento de la misma.

En el aspecto referente a la emisión de gases contaminantes y partículas suspendidas, las leyes mexicanas establecen, por medio de la *Secretaría de Salud*, una serie de recomendaciones que regulan la expulsión de gases tóxicos. Dichos estatutos están contenidos en la *Ley Federal Para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental*, fechada el 23 de marzo de 1971, la cual contiene un anexo titulado *Reglamento Para la Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica Originada por la Emisión de Humos y Polvos*, aprobada el 17 de septiembre de 1971. Dentro de los ordenamientos contenidos en esta legislación, aparecen los concernientes a la calidad del medio ambiente en base a los contenidos de bióxido de azufre (SO_2) y partículas suspendidas totales (P.S.T.).

Tales normas para la calidad del aire, han sido homologadas con las establecidas en Estados Unidos, por la *Environmental Protection Agency (E.P.A.)*. Algunas de las disposiciones establecidas por ambas instituciones, aparecen en el Anexo I del presente trabajo. En el aspecto referente a la clasificación de las chimeneas con respecto a su diseño estructural, estas se dividen en 5 grupos generales, de acuerdo a las siguientes especificaciones establecidas por la *Comisión Federal de Electricidad, (C.F.E.)*, y cuya clasificación se presenta a continuación:

- 1.1. Por el flujo de su emisión de gases.
- 1.2. De acuerdo con el número de tiros de la chimenea.
- 1.3. Por su resistencia a solicitaciones accidentales.
- 1.4. Dependiendo de la clase de materiales utilizados en su construcción.
- 1.5. Con respecto al tipo de revestimiento interior de la chimenea.

1.1. POR EL FLUJO DE SU EMISIÓN DE GASES.

Dependiendo de la velocidad de dispersión de los gases que se desee lograr, las chimeneas se clasifican en:

1.1.1. CHIMENEAS DE TIRO NATURAL.

Son aquellas en las que el diferencial de presión necesario para la expulsión de los gases, se debe exclusivamente a las diferencias de temperatura y presión.

1.1.2. CHIMENEAS DE TIRO INDUCIDO.

En este tipo de chimeneas, es creada por medios artificiales, una presión negativa decreciente que actúa en forma progresiva.

1.1.3. CHIMENEAS DE TIRO FORZADO.

En las chimeneas de tiro forzado, el flujo de los gases se produce por medio de presiones positivas mayores que la atmosférica, con el propósito de que los gases sean expulsados a la mayor altura posible.

1.2. DE ACUERDO CON EL NÚMERO DE TIROS DE LA CHIMENEA.

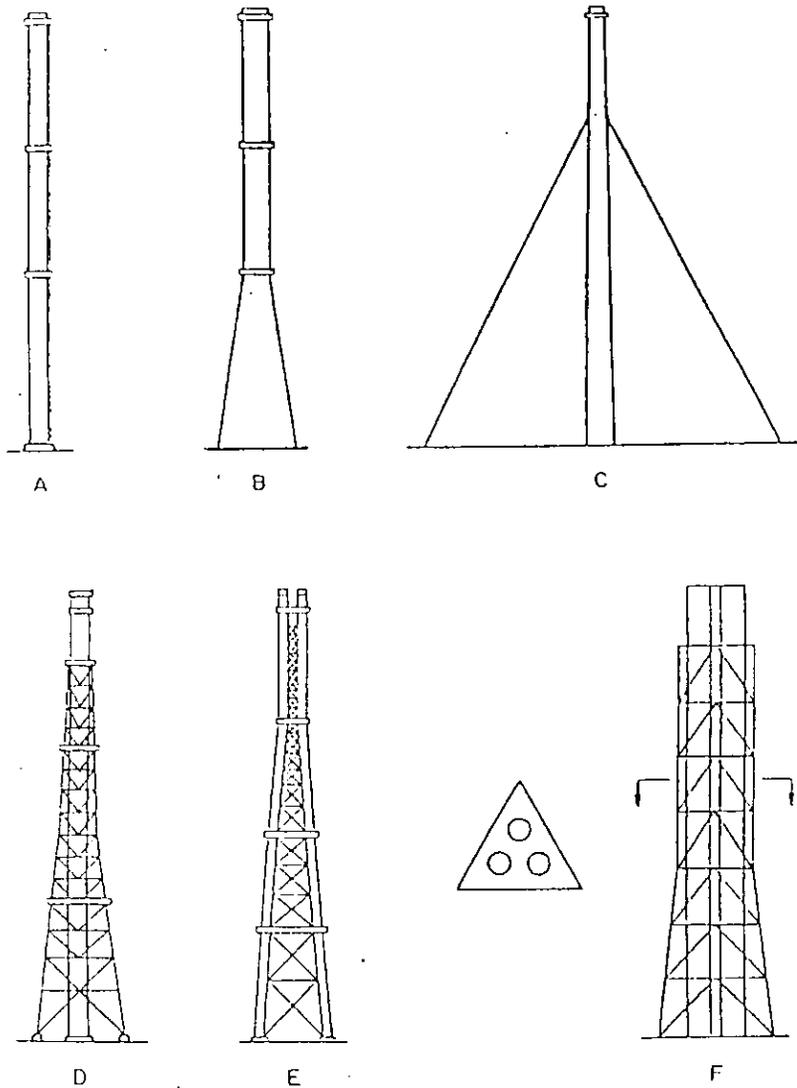


FIG 1.3 Chimeneas de acero. Algunos arreglos típicos

En este tipo de chimeneas, la clasificación se limita a 2 tipos:

1.2.1. CHIMENEAS DE TIRO SIMPLE.

Son las chimeneas que llevan un solo tiro por cada fuste.

1.2.2. CHIMENEAS DE TIROS MÚLTIPLES.

Este tipo de chimeneas se caracterizan porque contienen 2 ó más tiros dentro del mismo fuste.

1.3. POR SU RESISTENCIA A SOLICITACIONES ACCIDENTALES.

Entiéndase por solicitaciones accidentales a las fuerzas naturales que pudieran afectar a la chimenea en dirección horizontal, tales como: sismo, viento, empuje de tierras, etc. Este tipo de chimeneas se divide en 2 grupos:

1.3.1. CHIMENEAS AUTOPORTANTES.

Estas chimeneas son las que no requieren de una estructura adicional para resistir a las solicitaciones accidentales, como sismos ó viento, ya que su propio fuste ha sido diseñado para resistir tales fuerzas accidentales.

1.3.2. CHIMENEAS NO AUTOPORTANTES.

A este tipo de chimeneas, se les tiene que rigidizar por medio de una estructura adicional, ya que su fuste no está diseñado para resistir ciertas fuerzas accidentales. Dentro de la clasificación de estas chimeneas, se incluyen las chimeneas atirantadas.

1.4. DEPENDIENDO DE LA CLASE DE MATERIALES UTILIZADOS EN SU CONSTRUCCIÓN.

La clasificación de las chimeneas por su tipo de materiales, se subdivide en 4 grupos:

1.4.1. CHIMENEAS DE CONCRETO REFORZADO MONOLÍTICO.

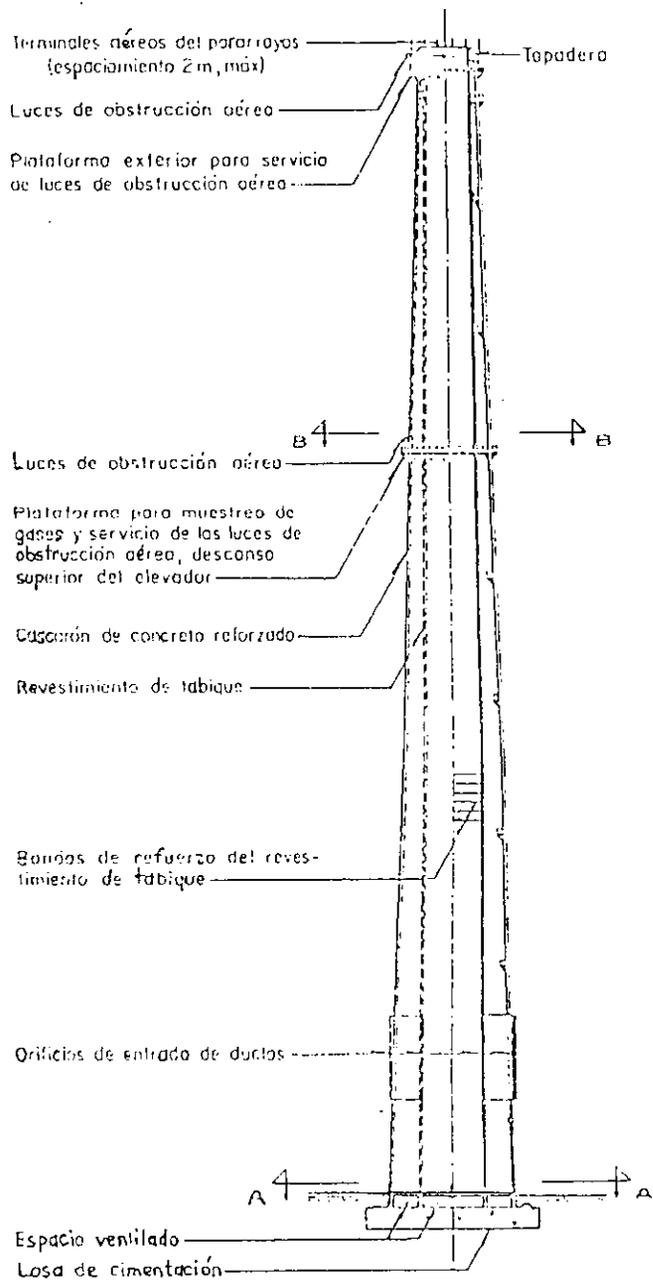


FIG.I.5a Arreglo típico de una chimenea de concreto reforzado

El fuste de esta clase de chimeneas, está construido de concreto con un refuerzo de acero. Cabe mencionar que la resistencia a la compresión del concreto, debe ser de un $f_c = 200 \text{ kg/cm}^2$, como mínimo y un límite de fluencia del acero de refuerzo de $f_y = 3000 \text{ kg/cm}^2$, por lo menos. Para su elaboración, se utilizan cimbras metálicas deslizantes.

1.4.2. CHIMENEAS DE ACERO.

Las chimeneas de este tipo, se constituyen por tramos de tubería de acero electrosoldados en sus uniones.

1.4.3. CHIMENEAS DE MAMPOSTERÍA.

Estas chimeneas se construyen por medio de tabique refractario colocado a mano.

1.4.4. CHIMENEAS CONSTRUIDAS CON ELEMENTOS PREFABRICADOS.

Para este tipo de chimeneas no se cuenta con mucha información, ya que su empleo no es muy recomendable.

1.5. CON RESPECTO AL TIPO DE REVESTIMIENTO INTERIOR DE LA CHIMENEA.

En el interior de las chimeneas se debe de colocar un revestimiento especial, con el propósito de contrarrestar los efectos corrosivos de los gases y sustancias químicas emitidas por la chimenea. Para ello, se han determinado 3 grupos de chimeneas de acuerdo a su revestimiento:

1.5.1. CHIMENEAS CON REVESTIMIENTOS INTEGRADOS.

Esta clase de revestimiento va soportado de forma continua en todo el fuste, ya que va sujeto al material que compone al fuste.

1.5.2. CHIMENEAS CON REVESTIMIENTOS SOPORTADOS.

Estos revestimientos van soportados sobre apoyos verticales intermedios entre su base y el extremo superior del revestimiento.

1.5.3. CHIMENEAS CON REVESTIMIENTO INDEPENDIENTE.

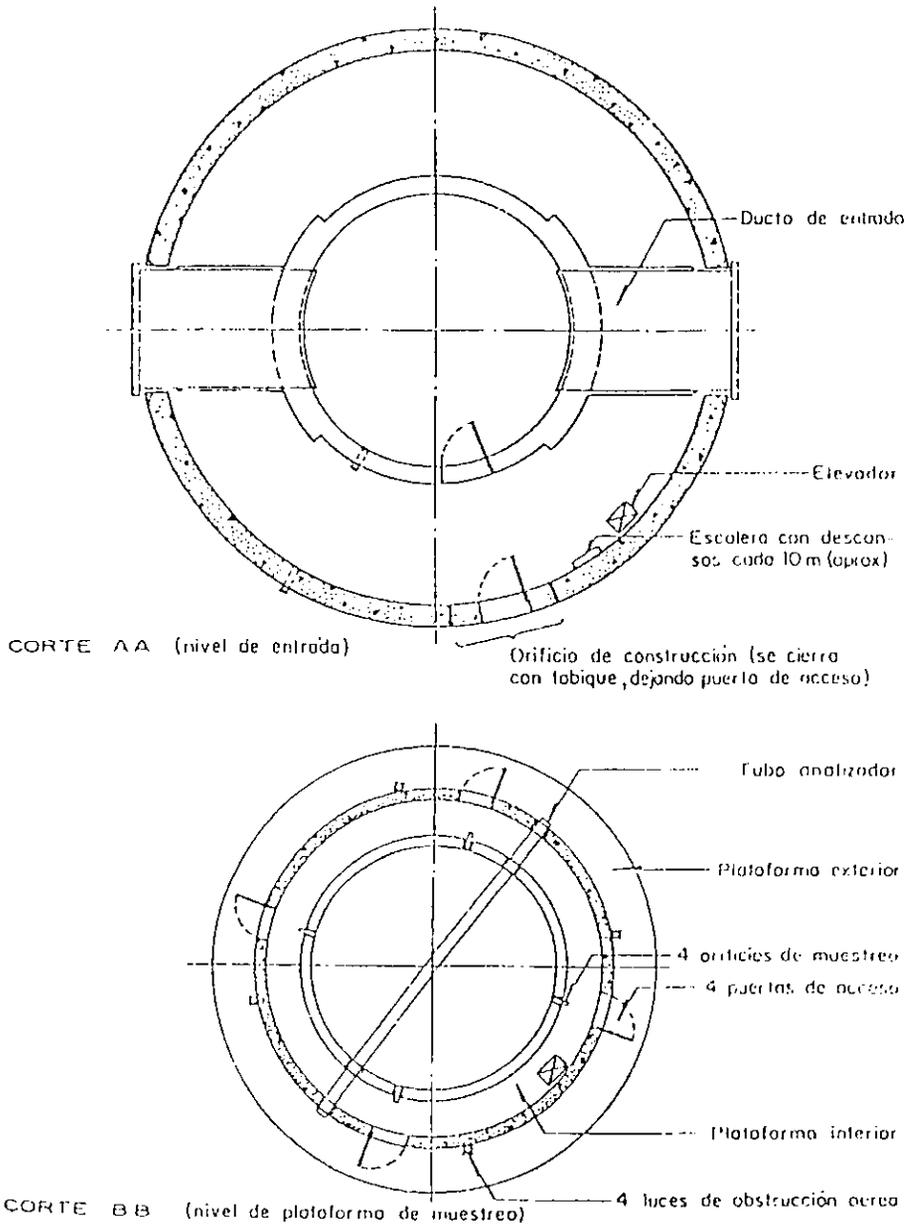


FIG 1.5b Cortes horizontales de una chimenea de concreto reforzado

La característica principal de este revestimiento, es que no lleva ningún tipo de soporte vertical intermedio entre su base y su extremo superior. Dentro de este grupo, existe otra subdivisión, que se menciona a continuación:

1.5.3.1. Chimeneas con revestimientos libres.

Se distinguen de las demás, porque en ellas el peso de su revestimiento descansa sobre su base o en una sección muy próxima a ella. Esto produce una compresión sobre el mismo revestimiento, pero no obstante, no se les adiciona ningún refuerzo de estabilización lateral. Comúnmente se construyen de acero, de tabique o de plástico reforzado.

1.5.3.2. Chimeneas con revestimientos estabilizados.

En este tipo de revestimiento, la compresión también es ejercida sobre la base del mismo o en las secciones adyacentes a este, pero a este revestimiento sí se le refuerza con apoyos que le dan estabilidad lateral. Estos apoyos son construídos de acero o de tabique.

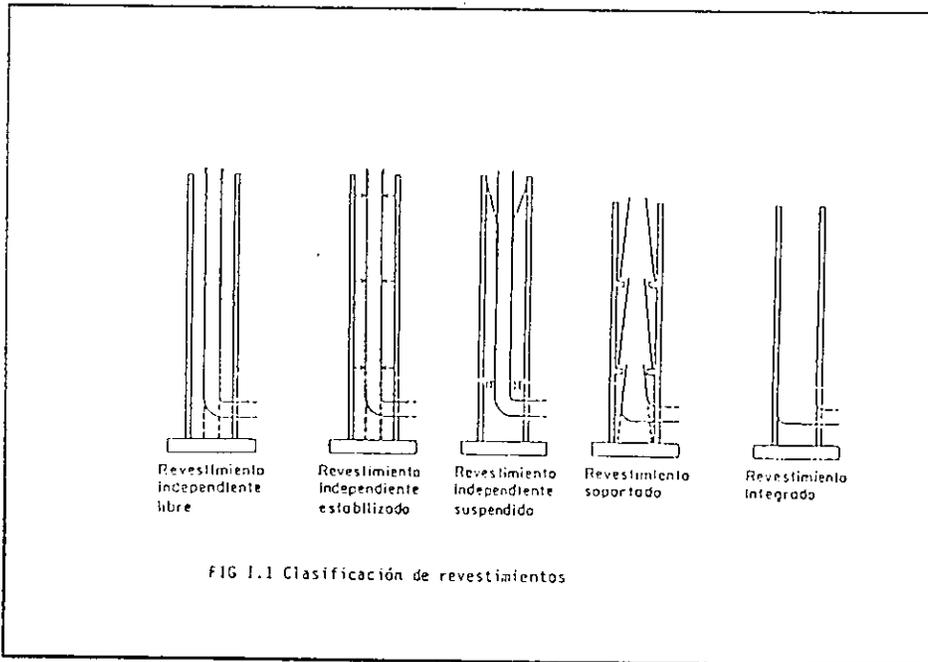
1.5.3.3. Chimeneas con revestimientos suspendidos.

Este revestimiento va suspendido por medio de cables al extremo superior del fuste, por lo cual su peso es transmitido en parte por él mismo y en parte por los cables. En su construcción casi siempre es utilizado el acero.

BIBLIOGRAFÍA

Manual de diseño de obras civiles.
C.2.7. Chimeneas. Instituto de Investigaciones Eléctricas. 1981.
Comisión Federal de Electricidad. México.

Manual de diseño de estructuras de concreto conforme al Reglamento ACI 318.
1990. Portland Cement Association. Estados Unidos.
1995. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. México.



CONSIDERACIONES BÁSICAS PARA EL DISEÑO DE CHIMENEAS

Con el objetivo de lograr el diseño óptimo de las centrales termoeléctricas que ella misma construye y opera, la **C.F.E.** ha emitido una serie de manuales en donde se analizan y diseñan algunas de las partes más importantes de una planta generadora, como lo son sus chimeneas. Es por ello, que en este capítulo se hará mención de los estudios básicos que se toman en consideración para la concepción de ellas.

2.1. CONTAMINANTES EMITIDOS POR CENTRALES TERMOELÉCTRICAS CONVENCIONALES.

Los contaminantes originados por los procesos de combustión en centrales termoeléctricas se pueden catalogar en 2 tipos:

- I. Contaminantes primarios.* Son los emitidos directamente por la fuente de contaminación, y
- II. Contaminantes secundarios.* Son aquellos que se forman en la atmósfera como resultado de la interacción de 2 ó más contaminantes primarios, o por reacción con los componentes atmosféricos normales, con o sin fotoactivación.

Los principales contaminantes primarios producidos por centrales de potencia que utilizan combustibles convencionales están formados por partículas sólidas o líquidas y gases, como los óxidos de azufre, de nitrógeno y de carbono. En una central 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 del contenido de CO₂ en la atmósfera, por lo menos al nivel actual de las concentraciones observadas a escala mundial. 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.

2.1.1. PROCEDIMIENTOS PARA ABATIR LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.

El abatimiento de la contaminación puede efectuarse en la fuente de emisión misma o en el punto en que el efluente es entregado a la atmósfera. Su objetivo es reducir la cantidad de contaminantes emitidos y su concentración a límites aceptados. El control en la fuente misma se puede realizar ya sea por sustitución o modificación del combustible empleado, por captura y remoción de los contaminantes contenidos en el efluente, o bien modificando las técnicas y equipos de combustión. Estos procedimientos de control son los únicos que pueden reducir la contaminación en términos absolutos dado que actúan sobre la fuente emisora. El control en el punto de entrega a la atmósfera se efectúa empleando chimeneas altas que producen la dilución y dispersión del efluente, de manera que, al llegar al receptor, la concentración de contaminantes quede por debajo de los límites aceptados. Este procedimiento reduce el impacto sobre los lugares cercanos a la chimenea, pero aumenta el área expuesta a la contaminación; ciertamente no afecta la cantidad total de contaminantes. Debido a las exigencias crecientes de la legislación al mayor costo de los combustibles líquidos con bajo contenido de azufre, en los últimos tiempos ha aumentado el interés por los procedimientos de control y abatimiento de la contaminación que actúan sobre la fuente misma o, más bien, por una combinación de dichos métodos y el empleo de chimeneas de gran altura. A medida que crezca la concentración urbana y se vayan agravando los problemas de contaminación, seguramente se dará cada vez mayor importancia relativa a los procedimientos que actúan sobre la fuente misma, ya que son los únicos que reducen la contaminación en términos absolutos.

El grado de dilución y dispersión en la atmósfera de los contaminantes emitidos por una chimenea depende de varios factores: la altura y el diámetro superior del ducto, la temperatura y velocidad de salida de los gases, las condiciones meteorológicas reinantes (velocidad, dirección y estructura del viento, grado de estabilidad atmosférica, nubosidad), la topografía del terreno y la localización de la chimenea respecto de otras estructuras o de obstáculos naturales. No existen métodos analíticos que permitan tomar en cuenta el efecto de todos los factores enumerados en el cálculo de la concentración esperada de contaminantes. Sin embargo, hay casos en que algunos o la mayoría de esos factores tienen efectos secundarios y es entonces posible obtener resultados aceptables. Conviene mencionar que la contaminación resultante para una chimenea aislada o un grupo de chimeneas cercanas entre sí, puede ser muy distinta de la provocada por un número

considerable de chimeneas distribuidas sobre un área extensa. En el caso de una sola chimenea, las concentraciones máximas de contaminantes al nivel del terreno, bajo condiciones de atmósfera neutra o inestable, se producen en la cercanía de la fuente, generalmente dentro de una distancia igual a 20 veces la altura de la chimenea en la dirección del viento dominante.

En el caso de un número grande de chimeneas distribuidas sobre un área extensa, la contribución individual de cada una a la contaminación del área puede resultar aceptable, pero no así el efecto en su conjunto. Los efectos del viento en los 2 casos pueden ser diametralmente opuestos: mientras que en el segundo, el problema de contaminación del área decrece al aumentar la velocidad del viento, una sola chimenea puede producir problemas locales más serios para velocidades de viento relativamente altas. Al evaluar las concentraciones máximas esperadas de contaminantes aportados por una nueva instalación para compararlas con las permitidas, hay que tener en cuenta que dichos contaminantes se encuentran ya presentes en el ambiente receptor en concentraciones que dependen del avance de urbanización e industrialización del área.

2.1.2. DETERMINACIÓN DE LA ALTURA Y DIÁMETRO INTERIOR DEL FUSTE.

Para determinar de manera preliminar la altura de la chimenea, se procederá a utilizar la siguiente ecuación (tomada del *Manual de Diseño de Obras Civiles, C.F.E.*):

$$h_p = 50 \left[\frac{120}{t_g} \right]^{0.3} \left[\frac{S}{C_{ad} - C_f} \right]^{1/2} \left[\frac{Q^2}{t_g - t_{amb}} \right]^{1/6} \quad \text{(EC. 2-1)}$$

Donde:

h_p = Altura mínima del ducto de salida de los gases (m.).

t_g = Temperatura de los gases a la salida del tiro (°C).

S = Porcentaje de contenido de azufre en el combustible.

C_{ad} = Concentración máxima admisible de SO_2 al nivel de terreno ($\mu g/m^3$).

C_f = Concentración de fondo de SO_2 en la localidad.

Q = Consumo de combustible (kg/hr).

t_{amb} = Temperatura ambiental del aire (°C).

En base a estudios basados en la experiencia de otras centrales termoeléctricas previamente construídas, se ha comprobado que cuando la altura de la chimenea es de 2 ó más veces la altura de los edificios de los generadores adyacentes, es muy buena la dispersión de los contaminantes, ya que no se presentan turbulencias en el flujo de los gases. Con respecto al diámetro del tiro, se debe verificar que este permita la expulsión de los gases a una velocidad de 15 m/seg. Esta velocidad se estableció en base a estudios que demostraron que con la velocidad de diseño mínima (5 m/seg), existe una cierta resistencia al flujo de los gases. Asimismo, no se debe de llegar a la velocidad máxima, que es de 25 m/seg, porque se ha comprobado que a esta velocidad el flujo de gases arrastra demasiado aire frío y la nube despedida por la chimenea no alcanza la altura deseada.

2.2. VIENTO.

En el análisis y diseño estructural de chimeneas será aplicable lo dispuesto en el *Capítulo C.1.4 de la Sección Estructuras del Manual de Diseño de Obras Civiles de la C.F.E.*, sobre regionalización eólica y velocidad regional del viento. Con el objeto de evitar interpretaciones equívocas sobre los límites de las regiones, las especificaciones de la obra deberán indicar la velocidad regional de viento que se empleará en los cálculos. Si para una localidad particular existieran registros de viento u otra información que indicara que la velocidad regional prescrita en las recomendaciones generales del mencionado manual es inadecuada, se determinará la velocidad a emplear sobre la base de un estudio de riesgo. Se tomarán en cuenta los siguientes efectos del viento:

- I. Presiones y succiones estacionarias, debidas a la acción del viento medio.
- II. Empujes dinámicos paralelos y perpendiculares al flujo principal, causados por turbulencia.
- III. Vibraciones transversales al flujo principal, provocadas por vórtices alternantes.

2.2.1. PERFIL DE VELOCIDADES DEL VIENTO MEDIO.

La velocidad $U(z)$ del viento medio a la cota z sobre el nivel del terreno se calculará según la fórmula siguiente:

$$\frac{U(z)}{U(z_1)} = \left[\frac{z}{z_1} \right]^\alpha \quad (z > z_1) \quad \text{(EC. 2-2)}$$

Donde:

z_1 = Es la cota para la cual se ha especificado la velocidad básica del viento,
y

α = Es una constante adimensional que depende de la rugosidad del terreno y de las condiciones de exposición.

Para $z < z_1$ se supondrá $U(z) = U(z_1)$. La velocidad del viento medio a la cota z_1 , $U(z_1)$, se obtendrá a partir de la velocidad regional especificada en el **Capítulo C.1.4. de la Sección Estructuras del Manual de la C.F.E.**, mediante la relación:

$$U(z_1) = \frac{1 - 2\alpha}{1 + 0.3\alpha} (V_R) 100 \quad \text{(EC. 2-3)}$$

Los valores del exponente α se tomarán de la Tabla I.7, según la naturaleza del terreno, $V(R)$ es la velocidad regional para un intervalo medio de recurrencia igual a 100 años.

2.2.2. PRESIONES Y SUCCIONES ESTACIONARIAS.

Para el efecto de evaluar las solicitaciones a que resulta sometida la chimenea, considerada como viga en voladizo (momentos flectores y cortantes) las acciones resultantes de las presiones y succiones debidas al viento medio se asimilarán a cargas horizontales, independientes del tiempo, en la dirección del flujo principal y distribuidas según el eje de la chimenea con una intensidad por unidad de alto, $FD(z)$, dada por la fórmula:

$$FD(z) = \frac{1}{2} \rho U^2(z) C_D d(z) \quad \text{(Ec. 2-4)}$$

en la cual ρ es la densidad del aire en el lugar de la obra, en condiciones medias de temperatura y presión atmosférica; $U(z)$ es la velocidad del viento medio, C_D es un coeficiente adimensional, llamado coeficiente de arrastre, y $d(z)$ es la dimensión transversal exterior del fuste en la sección de cota z . Además hay que señalar la ecuación:

$$q(z) = \frac{1}{2} \rho U^2(z) \quad (\text{Ec. 2-5})$$

ya que con ella se designa la presión dinámica estacionaria al nivel z . Así como:

$$F(D) = q(z) C_D d(z) \quad (\text{Ec. 2-6})$$

La densidad ρ en una localidad situada a la altitud a sobre el nivel del mar expresada en km, se puede estimar por la fórmula aproximada:

$$\rho(a) = \frac{8+a}{8+2a} \rho(o) \quad (\text{Ec. 2-7})$$

El coeficiente de arrastre C_D se tomará de la Tabla I.6.

2.2.3. OVALIZACIÓN DEBIDA A LA DISTRIBUCIÓN AZIMUTAL DE PRESIONES Y SUCCIONES.

En secciones circulares, las presiones y succiones estacionarias producen solicitaciones de flexión y esfuerzo normal en la sección, considerada como anillo. Los momentos de flexión máximo (los cuales producen tensión en el interior del conducto) y mínimo (ocasionan tensión en la cara exterior) y la tensión por unidad de alto de la chimenea en la sección considerada, se calcularán por las fórmulas:

$$M \text{ máx} = \alpha q R r \quad (\text{Ec. 2-8})$$

$$M \text{ mín} = -\beta q R r \quad (\text{Ec. 2-9})$$

$$N \text{ máx} = \gamma q R \quad (\text{Ec. 2-10})$$

Donde:

$r =$ Es el radio medio de la sección.

R = Es el radio exterior de la sección.

q = Es la presión dinámica estacionaria.

Los coeficientes adimensionales α , β y γ se tomarán de la Tabla 1.5. En el caso de que la chimenea lleve dispositivos contra vórtices (barras o placas), deberá tomarse para R el valor del radio exterior del fuste aumentado en lo que dichos dispositivos sobresalgan hacia afuera de la superficie cilíndrica.

2.2.4. EMPUJES DINÁMICOS PARALELOS AL VIENTO.

El efecto dinámico en la dirección del viento debido a las ráfagas, se tendrá en cuenta como si fuera un efecto estático, multiplicando las acciones debidas al viento medio por un factor de ráfaga G , de manera que la fuerza horizontal total por unidad de alto estará dada por:

$$F(z) = G F_D(z) \quad (\text{Ec. 2-11})$$

Donde:

$F_D(z)$ = Es la carga definida en 2.2.2.

El factor de ráfaga se calculará con la siguiente fórmula, basada en la teoría de las vibraciones aleatorias:

$$G = 1 + gr \sqrt{B + \frac{sF}{\zeta}} \quad (\text{Ec. 2-12})$$

ecuación de términos se establecen a continuación.

2.2.4.1. Factor de pico. El factor g llamado factor de pico, expresa la relación entre la respuesta dinámica máxima esperada en un intervalo de tiempo T y la respuesta al viento estacionario. Se le calculará por la fórmula:

$$g = \sqrt{2 \ln(n_o T)} - \frac{0.5772}{\sqrt{2 \ln(n_o T)}} \quad (\text{Ec. 2-13})$$

Donde:

n = Es la frecuencia del modo fundamental de la estructura, en ciclos por segundo.

T = Es la duración en segundos, del intervalo empleado para especificar la velocidad media $U(z_1)$ del viento en la cota de referencia z_1 . T deberá estar comprendido entre 5 minutos y una hora.

2.2.4.2. Factor de rugosidad. El factor r es aproximadamente proporcional a $H^{-\alpha}$, donde H es la altura de la chimenea y α es el exponente que aparece en el inciso **2.2.1. Perfil de velocidades del viento medio**. El coeficiente de proporcionalidad depende de la rugosidad del terreno.

2.2.4.3. Turbulencia de fondo. El término B expresa la influencia que tienen sobre la respuesta estructural las componentes de baja frecuencia que se encuentran presentes en la excitación. Este término depende de la altura H de la chimenea a través de la relación:

$$B = 2 \left[1 - \frac{1}{\left(1 + \left[\frac{450}{H} \right]^2 \right)^{1/3}} \right] \quad (\text{Ec. 2-14})$$

Donde:

H = Es la altura, expresada en metros.

2.2.4.4. Término debido a la resonancia de la estructura. La expresión que aparece bajo el radical en la Ec. 2-12 y que a continuación se expresa:

$$\frac{sF}{\zeta} \quad (\text{Ec. 2-15})$$

corresponde a las oscilaciones de la estructura por efecto de componentes del espectro del viento en las frecuencias cercanas a la frecuencia del modo

fundamental de la chimenea. En esta expresión, ζ es el amortiguamiento del modo fundamental expresado como fracción del amortiguamiento crítico, s es un factor de tamaño y F una función relacionada con la distribución de la energía del viento en el dominio de la frecuencia. Es conveniente introducir una frecuencia reducida v_0 y una variable X definidas por:

$$v_0 = \frac{n_0 H}{U(H)} \quad \text{(Ec. 2-16)}$$

$$X = \frac{1200 n_0}{U(H)} \quad \text{(Ec. 2-17)}$$

Donde:

n_0 = Es la frecuencia del modo fundamental, en ciclos por segundo.

$U(H)$ = Es la velocidad del viento medio en la punta de la chimenea, en m/seg.

H = Es la altura de la chimenea, en metros. Con esta notación:

$$s = \frac{X}{(3 + 8v_0) \left(1 + \frac{10D}{H} v_0 \right)} \quad \text{(Ec. 2-18)}$$

$$F = \frac{X^2}{(1 + X^2)^{4/3}} \quad \text{(Ec. 2-19)}$$

Donde:

D = Es el diámetro de la chimenea a 2/3 tercios de su altura.

2.2.4.5. Empujes dinámicos transversales. El efecto de los empujes dinámicos transversales asociados al desprendimiento de vórtices se asimilará a una presión estática uniformemente repartida sobre la proyección de la chimenea en un plano vertical paralelo al flujo principal. La intensidad q_n de dicha presión será:

$$q_n = \frac{1}{2} \rho V^2 s g \sqrt{\frac{F' s'}{\zeta}} \phi$$

(Ec. 2-20)

Donde:

F' = Es una ordenada espectral.

s' = Es un factor de tamaño.

ϕ = Es un factor que depende de la amplitud de las vibraciones transversales, inducidas por el viento, todos ellos son adimensionales.

V_S = Es la velocidad de Strouhal definida por:

$$V_S = \frac{no d(H)}{S}$$

(Ec. 2-21)

Donde:

$d(H)$ = Es el diámetro exterior en la punta de la chimenea, en metros.

S = Es un número adimensional llamado número de Strouhal. Los valores de F' , s' , S , ϕ se pueden obtener de las gráficas I.11 hasta la I.14.

2.2.4.6. Efectos de proximidad. Cuando la chimenea proyectada tenga que ser construida en la proximidad de otras chimeneas, o cuando en el futuro se proyecte construir una o varias chimeneas próximas, los coeficientes de arrastre y la distribución azimutal de presiones y succiones se determinarán mediante experiencias en túnel de viento o se justificarán sobre la base de experiencias realizadas para situaciones que se juzguen similares. Lo mismo es aplicable al caso en que la chimenea se construya próxima a otras estructuras altas o cuando se trate de ductos simples o múltiples soportados por torres. Tratándose de chimeneas en batería, deberá tenerse en cuenta el efecto de la estela de la chimenea situada a barlovento sobre las vibraciones de la o de las chimeneas de sotavento. Se admitirá que los efectos de proximidad son despreciables cuando la separación mínima entre la chimenea y otras estructuras sea superior a 20 veces el diámetro exterior, medido en la sección situada a 2/3 de la altura.

2.2.4.7. Criterios sobre el desprendimiento de vórtices. Se tomará como criterio para que se produzca el desprendimiento de vórtices que la velocidad del viento medio en la punta de la chimenea $U(H)$ sea superior a la velocidad de

Strouhal. Para este efecto es suficientemente aproximado suponer que la velocidad de Strouhal es:

$$V_s = 5 n_o d_m \quad \text{(Ec. 2-22)}$$

Donde:

d_m = Es el diámetro exterior medio de la chimenea.

2.2.4.8. Esfuerzos por viento más carga muerta. La siguiente evaluación de esfuerzos se aplica en secciones de fustes que no presenten orificios. Las ecuaciones se muestran a continuación:

$$f'_{cw} = \frac{W(1 - \cos \alpha)}{2rt(1 - p)(\sin \alpha - \alpha) - np\pi \cos \alpha} \quad \text{(Ec. 2-23)}$$

Donde:

f'_{cw} = Esfuerzo máximo de compresión en el concreto sobre el borde exterior del fuste a causa de las sollicitaciones globales (kg/cm^2).

W = Resultante de las cargas muertas que actúan por encima de la sección en análisis (kg.).

α = Ángulo al centro subtendido por el eje neutro como cuerda en la circunferencia de radio r (radianes).

r = Radio medio de la sección en cuestión (cm.).

t = Espesor de la pared del fuste (cm.).

$n = \frac{E_s}{E_c}$ = Relación entre los módulos de elasticidad del acero de refuerzo vertical y el concreto.

p = Relación entre el área total de la sección de acero de refuerzo y el área de la sección de concreto en el plano horizontal.

E_s = Módulo de elasticidad del acero de refuerzo vertical (kg/cm^2).

E_C = Módulo de elasticidad del concreto del fuste (kg/cm^2).

$$f_{cw} = f'_{cw} \left[1 + \frac{t}{2r(1 - \cos\alpha)} \right] \quad (\text{Ec. 2-24})$$

f_{cw} = Esfuerzo máximo de compresión en el concreto sobre la circunferencia media del fuste debido a solicitaciones globales (kg/cm^2).

$$f_{sw} = n f'_{cw} \left[\frac{1 + \cos\alpha}{1 - \cos\alpha} \right] \quad (\text{Ec. 2-25})$$

f_{sw} = Esfuerzo máximo de tensión del acero de refuerzo vertical causado por las solicitaciones globales del estado de carga (kg/cm^2).

2.3. SISMO.

2.3.1. GENERALIDADES.

Para el análisis estructural y diseño de chimeneas será aplicable lo dispuesto en el **Capítulo C.1.3. de la Sección Estructuras del Manual de Diseño de Obras Civiles**, en lo concerniente a regionalización sísmica, coeficientes sísmicos regionales y espectros de diseño. Con el objeto de evitar interpretaciones equivocadas acerca de los límites señalados en el mapa de regionalización sísmica, las especificaciones de la obra deberán indicar la zona que se aplicará. Si para una localidad particular existieran registros acelerográficos de temblores intensos u otra información que indicase que el coeficiente sísmico o el espectro de diseño prescrito por las recomendaciones generales del **Manual de Diseño de Obras Civiles** son inadecuadas, se definirán los coeficientes y ordenadas espectrales a emplear sobre la base de un estudio de riesgo. Cuando la obra haya de construirse sobre suelos en los cuales se pueden esperar efectos de amplificación importantes, se efectuarán estudios especiales para determinar dichos efectos sobre el espectro de diseño. La estructura se analizará bajo la acción de 2 componentes horizontales ortogonales del movimiento del terreno. Los efectos correspondientes (desplazamientos y fuerzas internas) se combinarán en cada sección crítica superponiendo los efectos de una componente más la mitad de los efectos correspondientes a la otra, teniendo en cuenta las relaciones geométricas aplicables en cada caso. La elección de las direcciones ortogonales para las cuales se efectuará el análisis se hará atendiendo a la ubicación de los orificios en el fuste (orificios de entrada de ductos, puertas de

inspección y de limpieza, etc.). En casos especiales será necesario efectuar el análisis para más de un par de direcciones.

2.3.1.1. Métodos de análisis. El análisis sísmico de chimeneas se podrá realizar por alguno de los siguientes métodos:

- I. Análisis estático.
- II. Análisis modal espectral.

El primero de estos métodos será aplicable al diseño de chimeneas cuya altura no sobrepase de 60 m. Se le podrá emplear para chimeneas de altura mayor solamente en cálculos preliminares estimativos. El análisis modal espectral se podrá aplicar sin restricción, cualquiera que sea la altura de la chimenea. Cualquiera que sea el método de análisis empleado, no se considerará el efecto de las aceleraciones verticales y se aceptará que el fuste de la chimenea se comporta como una viga de Euler-Bernoulli sin efectos P-Δ. Es decir, se despreciará el efecto de la excentricidad de las cargas verticales sobre los momentos de flexión; 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.

I. Análisis estático. En el método estático, los efectos dinámicos inducidos por el sismo se simulan mediante una carga estática, horizontal, distribuida a lo largo del eje de la estructura y que actúa en la dirección del movimiento. La resultante de las cargas distribuidas será igual al cortante basal determinado de acuerdo con lo dispuesto en el **Capítulo C.1.3**, salvo por un factor correctivo para tomar en cuenta que las chimeneas son estructuras de amortiguamiento limitado. Para el efecto del cálculo del cortante basal se supondrá que el nivel basal es la sección donde se encuentra el fuste con la cimentación. Para chimeneas de concreto reforzado se reducirá el cortante basal en lo que corresponda a un coeficiente de ductilidad $Q = 4$. El cortante reducido según las reglas del **Capítulo C.1.3**, ya mencionado se multiplicará por un factor de amplificación igual a 1.25 para tener en cuenta que el amortiguamiento es más pequeño que en las estructuras de edificios. Para chimeneas de acero se usará $Q = 6$ y un factor de incremento por amortiguamiento igual a 1.5. Para distribuir el cortante basal se dividirá la chimenea en n segmentos ($n > 10$) y se aplicará en el centro de gravedad de cada uno de ellos una fuerza horizontal F_k dada por la fórmula:

$$F_k = \frac{P_k A_k}{\sum_1^n P_k A_k} V \quad (k = 1, 2, \dots, n) \quad \boxed{\text{(Ec. 2-26)}}$$

Donde:

V = Es el cortante basal.

P_k = Es el peso del segmento número k , y los A_k están definidos por:

$$A_k = \sqrt{1 - \frac{z_{k-1} - 1}{H}} - \sqrt{1 - \frac{z_k}{H}} \quad (k = 2, 3, \dots, n) \quad \text{(Ec. 2-27)}$$

$$A_1 = 1 - \sqrt{1 - \frac{z_1}{H}} \quad (z_0 = 0) \quad \text{(Ec. 2-28)}$$

Donde:

z_k = Es la cota de la sección que separa los segmentos k y $k+1$.

Para evaluar los momentos de volteo se calculará en cada sección considerada el momento de las fuerzas F_k situadas por encima de la sección y se le multiplicará por un coeficiente de reducción J dado por:

$$J = 0.75 \left(1 + \frac{z}{3H} \right) \quad \text{(Ec. 2-29)}$$

Donde:

z = Es la cota de la sección en cuestión. Los esfuerzos cortantes no se afectarán por un coeficiente de reducción.

Para aplicar el método estático se podrá estimar el periodo fundamental mediante la fórmula empírica, válida para chimeneas autoportantes de concreto reforzado con revestimiento independiente:

$$T = \frac{1.4H^2}{3D(0) - D(H)\sqrt{E_c}} \quad \text{(Ec. 2-30)}$$

Donde:

T está dado en seg; H , $D(0)$, $D(H)$, en metros y E_c en kg/cm^2 .

Para chimeneas de concreto reforzado con revestimiento soportado o revestimiento integrado, el resultado de la fórmula anterior se multiplicará por $\sqrt{1+\epsilon}$, donde ϵ es el peso total del revestimiento, expresado como fracción del peso de la estructura de concreto. Para el cálculo del período fundamental de chimeneas de acero autoportantes se puede emplear la fórmula aproximada:

$$T \text{ (seg.)} = 0.18 \sqrt{\delta(\text{cm.})}$$

(Ec. 2-31)

Donde:

δ = Es la flecha en la punta de la chimenea producida por cargas horizontales iguales al peso.

En el cálculo de δ se supondrá que la chimenea se encuentra perfectamente empotrada en el nivel basal. Si la chimenea va revestida con concreto lanzado (gunite) el resultado de la ecuación debe reducirse en 15% para tener en cuenta la rigidez adicional contribuida por el revestimiento. Por supuesto que el peso del revestimiento debe incluirse entre las fuerzas horizontales empleadas en el cálculo de δ .

II. Análisis modal espectral. Se aplicará lo dispuesto en el **Capítulo C.1.3.** con las siguientes aclaraciones y excepciones:

- a) Basta considerar los 3 primeros modos de vibrar. Se supondrá que la estructura posee modos clásicos desacoplados y que, por lo tanto, las frecuencias y formas de vibrar se pueden determinar como si el amortiguamiento fuera nulo.
- b) Las magnitudes modales (esfuerzos, cortantes, momentos de volteo) se reducirán por ductilidad según las reglas del apartado citado, suponiendo $Q = 4$ para las chimeneas de concreto reforzado y $Q = 6$ para las de acero.
- c) Se aplicará a las magnitudes modales reducidas por ductilidad un factor de mayoración para tener en cuenta que las chimeneas son estructuras de bajo amortiguamiento. Dicho factor será 1.25 para las chimeneas de concreto reforzado y 1.5 para las de acero.
- d) Las magnitudes modales obtenidas después de aplicar lo dispuesto en los puntos anteriores se superpondrán según la fórmula:

$$R = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 |R_i| + \frac{1}{2} \sqrt{\sum_{i=1}^3 R_i^2}$$

(Ec. 2-32)

Donde:

R_i = Es la magnitud modal de que se trate (momento de flexión, fuerza cortante, etc.) para el modo i .

e) Cuando se efectúa análisis modal no es aplicable el coeficiente J de reducción de momentos.

III. Amortiguamiento. Tanto en el análisis estático como en el análisis modal espectral, en la especificación de las ordenadas espectrales está implícito un coeficiente de amortiguamiento viscoso del orden de 5% del amortiguamiento crítico. Mediciones efectuadas en chimeneas reales muestran que los coeficientes de amortiguamiento son pequeños: del orden de 2% del crítico para chimeneas de concreto reforzado y de 1% para las de acero. Los coeficientes de mayoración han sido determinados suponiendo que la radiación de energía hacia el suelo introduce un amortiguamiento adicional de 1%. En el análisis por viento, se emplearán los valores $\zeta = 0.03$ para chimeneas de concreto reforzado y $\zeta = 0.02$ para las de acero.

2.3.2. SOLICITACIONES EN EL FUSTE.

Conviene clasificar las solicitaciones que afectan al fuste en solicitaciones globales y solicitaciones locales.

2.3.2.1. Solicitaciones globales. Son las que inducen en el fuste el comportamiento como viga; a saber, los momentos flectores y fuerzas cortantes debidos al viento o al sismo, y las fuerzas normales de carga muerta.

2.3.2.2. Solicitaciones locales. Son las que corresponden al comportamiento del fuste como cascarón. Incluyen los efectos térmicos asociados a gradientes de temperatura, los momentos de ovalización y esfuerzos de membrana debidos a la distribución azimutal no uniforme de las presiones y succiones provocadas por el viento, los esfuerzos locales por cargas muertas aplicadas al fuste a través de ménsulas y las solicitaciones localizadas en la vecindad de singularidades (orificios, cambios de sección, etc.). En el cálculo de los esfuerzos correspondientes se aplicará la teoría de los cascarones delgados.

2.3.2.3. Solicitaciones térmicas. El cálculo de las solicitaciones térmicas en el fuste se hará bajo la hipótesis de que la gradiente térmica radial en el concreto es

constante; es decir, se aceptará una variación lineal de la temperatura en la dirección radial.

2.3.2.4. Combinación de solicitaciones. Para el diseño de las secciones y la evaluación de los esfuerzos en el concreto y en el acero de refuerzo se consideran las siguientes combinaciones de acciones o estados de carga:

- I. Viento más carga muerta.
- II. Sismo más carga muerta.
- III. Temperatura.
- IV. Viento más carga muerta más temperatura.
- V. Sismo más carga muerta más temperatura.

En el caso de chimeneas con revestimiento soportado por ménsulas se considerarán además los siguientes estados de carga:

- I. Viento más carga muerta sin revestimiento.
- II. Sismo más carga muerta sin revestimiento.

2.3.3. EVALUACIÓN DE ESFUERZOS.

La evaluación de los esfuerzos para las distintas combinaciones se hará según se dispone en los siguientes apartados.

2.3.3.1. Esfuerzos por viento más carga muerta para secciones sin orificios.

Para el estado de carga de los esfuerzos en las secciones del fuste que no presentan orificios, se evaluarán según las fórmulas del presente apartado; para lo cual se empleará la siguiente notación.

$e = M/W$. Es la excentricidad de la resultante de las cargas muertas que actúan por encima de la sección horizontal considerada, en cm.

f_{CW} = Es el esfuerzo máximo de compresión en el concreto sobre la circunferencia media del fuste debido a las solicitaciones globales por el estado de carga en la sección considerada, en kg/cm^2 .

f_{CW} = Es el esfuerzo máximo de compresión en el concreto sobre el borde exterior del fuste debido a las solicitaciones globales en el estado de carga en la sección considerada, en kg/cm^2 .

f_{SW} = Es el esfuerzo máximo de tensión del acero de refuerzo vertical debido a las solicitaciones globales por el estado de carga en la sección considerada, en kg/cm^2 .

$n = E_s/E_c$. Es la relación entre los módulos de elasticidad del acero de refuerzo vertical y del concreto.

p = Es la relación entre el área total de la sección de acero del refuerzo vertical y el área de la sección de concreto en el plano horizontal considerado.

r = Es el radio medio del fuste en la sección considerada, en cm.

t = Es el espesor del fuste en la sección considerada, en cm.

E_c = Es el módulo de elasticidad del concreto del fuste, en kg/cm^2 .

E_s = Es el módulo de elasticidad del acero de refuerzo vertical, kg/cm^2 .

M = Momento flector debido a la acción del viento en la sección considerada, kg-cm .

W = Resultante de las cargas muertas que actúan por encima de la sección considerada, en kg.

2α = Ángulo al centro subtendido por el eje neutro como cuerda en la circunferencia de radio r , en radianes.

Las fórmulas que se utilizarán serán las siguientes:

$$f'_{cw} = \frac{W(1 - \cos\alpha)}{2rt(1 - p)(\text{sen } \alpha - \alpha) - np\pi \cos\alpha} \quad \text{(Ec. 2-33)}$$

$$f_{cw} = f'_{cw} \left[1 + \frac{t}{2r(1 - \cos\alpha)} \right] \quad \text{(Ec. 2-34)}$$

$$f_{sw} = nf'_{cw} \left[\frac{1 + \cos\alpha}{1 - \cos\alpha} \right] \quad \text{(Ec. 2-35)}$$

2.3.3.2. Esfuerzos por viento más carga muerta para secciones con un orificio ó 2 orificios diametralmente opuestos. En secciones del fuste que presentan un orificio ó 2 orificios diametralmente opuestos se emplearán las fórmulas:

$$f'_{cw} = \frac{W(\cos \beta - \cos \alpha)}{2rt(1-p)(\sin \alpha - \alpha \cos \alpha) - (1-p+np)(\sin \beta - \beta \cos \alpha) - np\pi \cos \alpha} \quad (\text{Ec. 2-36})$$

$$f_{cw} = f'_{cw} \left[1 + \frac{t}{2r \cos \beta (\cos \beta - \cos \alpha)} \right] \quad (\text{Ec. 2-37})$$

$$f_{sw} = \eta f'_{cw} \left[\frac{1 + \cos \alpha}{\cos \beta - \cos \alpha} \right] \quad (\text{Ec. 2-38})$$

Donde:

2α = Ángulo al centro subtendido por el orificio como cuerda de la circunferencia de radio r , en radianes.

Si los orificios son 2, el valor de α a emplear será el que corresponde al mayor de ellos. Las fórmulas 2.36, 2.37 y 2.38 son aplicables al cálculo de los esfuerzos debidos a las solicitaciones globales en los estados de carga anteriores, con la salvedad de que en el segundo caso, no se incluye el peso del revestimiento.

2.3.3.3. Esfuerzos por viento más carga muerta para secciones con 2 orificios iguales no diametralmente opuestos. En las secciones del fuste que presenten 2 orificios iguales, pero no diametralmente opuestos, deberán evaluarse los esfuerzos por viento más carga muerta para dos direcciones del viento, una de las cuales será la del diámetro que pasa por el centro de uno de los orificios y la otra la del eje de simetría de la sección. Para el viento actuando según la dirección del diámetro que pasa por el centro de uno de los orificios se aplican las fórmulas 2.36, 2.37 y 2.38. Cuando el viento actúa según la dirección del eje de simetría de la sección, se emplearán en el cálculo 2 parámetros auxiliares A y B definidos por las ecuaciones:

$$A = \frac{1-p}{2} (\alpha - \sin \alpha \cos \alpha) + \frac{1}{2} np\pi - (1-p+np)(\beta + \sin \beta \cos \beta \cos 2\phi - 2 \cos \alpha \cos \beta \cos \phi) \quad (\text{Ec. 2-39})$$

$$B = (1-p)(\sin \alpha - \alpha \cos \alpha) - np\pi \cos \alpha - 2(1-p+np)(\sin \beta \cos \phi - \beta \cos \alpha) \quad (\text{Ec. 2-40})$$

$$f'_{cw} = \frac{W(1 - \cos \alpha)}{2rtB} \quad (\text{Ec. 2-41})$$

donde ϕ , en radianes, es la mitad del ángulo formado por los diámetros que pasan por el centro de cada uno de los orificios. ($\phi < 90^\circ$). Las expresiones para los esfuerzos debidos a las solicitaciones globales por viento más carga muerta son:

$$f_{cw} = f'_{cw} \left[1 + \frac{t}{2r(1 - \cos \alpha)} \right] \quad (\text{Ec. 2-42})$$

$$f_{sw} = n f'_{cw} \left[\frac{1 + \cos \alpha}{1 - \cos \alpha} \right] \quad (\text{Ec. 2-43})$$

Antes de aplicar estas ecuaciones, calcúlese e/r de la ecuación:

$$\frac{e}{r} = \frac{A}{B} \quad (\text{Ec. 2-44})$$

usando para p el valor determinado en la ecuación 2.36. Compárese el valor de e/r así obtenido con el valor real de e/r calculado a partir de la definición de e ; es decir, compárese con:

$$\frac{e}{r} = \frac{M}{Wr} \quad (\text{Ec. 2-45})$$

Si los 2 valores de e no coinciden, hágase variar α manteniendo p constante, hasta que los valores para e/r de las ecuaciones 2.45 y 2.46 coincidan. Obtenida esta coincidencia, empléense las ecuaciones 2.42, 2.43 y 2.44 para evaluar los esfuerzos y compárense con los esfuerzos admisibles definidos en el apartado de esfuerzos admisibles. Si los límites allí fijados son excedidos, debe aumentarse p y repetirse el cálculo hasta que se obtenga la coincidencia de los valores de e/r de las ecuaciones 2.44 y 2.45 y se cumpla simultáneamente con los límites impuestos a los esfuerzos admisibles.

2.3.3.4. Esfuerzos por solicitaciones globales de sismo más carga muerta. Para el cálculo de esfuerzos, se empleará la notación:

f_{ce} = Esfuerzo máximo de compresión en el concreto sobre la circunferencia media del fuste debido a las solicitaciones globales por sismo más carga muerta, en la sección considerada, kg/cm².

f'_{ce} = Esfuerzo máximo de compresión en el concreto sobre el borde exterior del fuste debido a las solicitaciones globales por sismo más carga muerta, en la sección considerada, kg/cm².

f_{se} = Esfuerzo máximo de tensión del acero de refuerzo vertical debido a las solicitaciones globales por sismo más carga muerta, en la sección considerada, kg/cm².

Se aplicarán las ecuaciones 2.33 a 2.46, según sea el caso poniendo f_{ce} , f'_{ce} , f_{se} en lugar de f_{cw} , f'_{cw} , f_{sw} , respectivamente, y sustituyendo el momento de flexión debido al viento por el momento debido a las fuerzas sísmicas.

2.3.3.5. Esfuerzos térmicos. Se utilizará la siguiente notación para el cálculo de los esfuerzos térmicos:

f'_{cTV} = Esfuerzo máximo de compresión vertical en el concreto en la cara interna del fuste debido al gradiente de temperatura, kg/cm².

f'_{cTc} = Esfuerzo máximo de compresión circunferencial en el concreto en la cara interna del fuste debido al gradiente de temperatura, kg/cm².

f_{sTV} = Tensión por gradiente térmica en el acero de refuerzo vertical para esfuerzos térmicos, kg/cm².

f_{sTc} = Tensión por gradiente térmica en el acero de refuerzo anular para esfuerzos térmicos, kg/cm².

$$k = -pn\sqrt{pn(pn + 2z)}$$

(Ec. 2-46)

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

(Ec. 2-47)

p = Relación entre el área total del refuerzo vertical para esfuerzos térmicos y el área del concreto en la sección horizontal considerada.

p' = Relación entre el área del acero de refuerzo circunferencial para esfuerzos térmicos y el área del concreto del fuste, por unidad de alto, en una sección vertical.

r_q = Relación entre la transmisión de calor a través del fuste y la transmisión de calor a través del revestimiento, para chimeneas con espacios de aire ventilados.

t_b = Espesor del revestimiento, en m.

t_s = Holgura del espacio de aire o espesor del aislamiento, en m.

z = Relación entre la distancia del refuerzo térmico vertical a la cara interior del fuste y el espesor total del mismo.

z' = Relación entre la distancia del refuerzo térmico circunferencial a la cara interior del fuste y el espesor total del fuste.

C_b = Coeficiente de conductividad térmica del revestimiento.

$$\frac{K_{cc}}{mhr^{\circ}C}$$

(Ec. 2-48)

C_c = Coeficiente de conductividad térmica del concreto, (igual a la ecuación 2.48).

C_s = Coeficiente de conductividad térmica del aislamiento entre el revestimiento y el fuste, (igual a la ecuación 2-48).

D_c = Diámetro medio del fuste de concreto en la sección considerada, en m.

D_{ci} = Diámetro interior del fuste de concreto, en m.

D_{co} = Diámetro exterior del fuste de concreto, en m.

D_b = Diámetro medio del revestimiento en la sección considerada, en m.

D_{bi} = Diámetro interior del revestimiento, en m.

D_s = Diámetro medio del espacio entre el revestimiento y el fuste, en m.

K_i = Coeficiente de transmisión superficial del calor de los gases a la superficie interior del revestimiento (o a la superficie interior del fuste de concreto si no hay revestimiento), en las mismas unidades de la ecuación 2.48.

K_r = Coeficiente de transporte de calor por radiación entre la superficie exterior del revestimiento y la superficie interior del fuste de concreto, en las mismas unidades de la ecuación 2.48.

K_s = Coeficiente de transmisión superficial del calor entre la superficie exterior del revestimiento y la superficie interior del fuste de concreto, para chimeneas con espacio de aire ventilado, en las mismas unidades de la ecuación 2.48.

T = Temperatura máxima de los gases dentro de la chimenea, en °C.

T_o = Temperatura mínima del aire exterior, en °C.

2.3.3.6. **Esfuerzos térmicos verticales.** El esfuerzo térmico de compresión vertical en el borde interno del fuste de concreto se calculará aplicando la fórmula:

$$f'_{cTv} = L k t_x E_c \quad \text{(Ec. 2-49)}$$

$$L = 1.2 \times 10^{-5} \text{°C}^{-1} \quad \text{(Ec. 2-50)}$$

T_x se calculará, según el caso, por alguna de las fórmulas siguientes:

- I. Para chimeneas sin revestimiento:

$$T_x = \frac{tD_{ci}}{C_c D_c} \left[\frac{T - T_o}{\frac{1}{K_1} + \frac{tD_{ci}}{C_c D_c} + \frac{D_{ci}}{K_2 D_{co}}} \right] \quad \text{(Ec. 2-51)}$$

- II. Para chimeneas revestidas con material aislante que llena completamente el espacio entre el revestimiento y el fuste:

$$T_x = \frac{tD_{bi}}{C_c D_c} \left[\frac{T - T_o}{\frac{1}{K_1} + \frac{tbD_{bi}}{C_b D_b} + \frac{tsD_{bi}}{C_s D_s} + \frac{tD_{bi}}{C_c D_c} + \frac{D_{bi}}{K_2 D_{co}}} \right] \quad (\text{Ec. 2-52})$$

- III. Para chimeneas revestidas, con espacio de aire no ventilado entre el revestimiento y el fuste:

$$T_x = \frac{tD_{bi}}{C_c D_c} \left[\frac{T - T_o}{\frac{1}{K_1} + \frac{tbD_{bi}}{C_b D_b} + \frac{D_{bi}}{K_r D_s} + \frac{tD_{bi}}{C_c D_c} + \frac{D_{bi}}{K_2 D_{co}}} \right] \quad (\text{Ec. 2-53})$$

- IV. Para chimeneas revestidas, con espacio de aire ventilado entre el revestimiento y el fuste:

$$T_x = \frac{tD_{bi}}{C_c D_c} \left[\frac{T - T_o}{\frac{1}{rqK_1} + \frac{tbD_{bi}}{rqC_b D_b} + \frac{D_{bi}}{K_s D_s} + \frac{tD_{bi}}{C_c D_c} + \frac{D_{bi}}{K_2 D_{co}}} \right] \quad (\text{Ec. 2-54})$$

La tensión en el acero de refuerzo vertical para temperatura se calculará según la fórmula:

$$f_{sTV} = L (z-k) T_x E_s \quad (\text{Ec. 2-55})$$

- 2.3.3.7. **Esfuerzos térmicos circunferenciales.** Los esfuerzos térmicos circunferenciales en el concreto y en el acero se calcularán por las fórmulas:

$$f'_{cTc} = L k' T_x E_c \quad (\text{Ec. 2-56})$$

$$f_{sTc} = L (z'-k') T_x E_s \quad (\text{Ec. 2-57})$$

2.3.3.8. Esfuerzos combinados por carga muerta, temperatura y acciones horizontales (viento o sismo). Se usará la siguiente nomenclatura:

$f''_{cw-comb}$ = Esfuerzo de compresión máximo en el concreto debido al efecto combinado de carga muerta, temperatura y viento, kg/cm^2 .

$f''_{sw-comb}$ = Esfuerzo de tensión máximo en el acero de refuerzo vertical debido al efecto combinado de carga muerta, temperatura y viento, kg/cm^2 .

$f''_{ce-comb}$ = Esfuerzo de compresión máximo en el concreto debido al efecto combinado de carga muerta, temperatura y sismo, kg/cm^2 .

$f''_{se-comb}$ = Tensión máxima en el acero de refuerzo vertical por el efecto combinado de carga muerta, temperatura y sismo, kg/cm^2 .

k_{comb} = Relación entre la distancia de la superficie interior del fuste a la superficie neutra que resulta de combinar los efectos de carga muerta, temperatura y acción horizontal, y el espesor t del fuste.

El parámetro k_{comb} se calculará por la fórmula:

$$k_{comb} = -pn\sqrt{pn(pn+2z)+2k(1+pn)} \quad (\text{Ec. 2-58})$$

cuando la acción horizontal es el viento. Cuando la acción horizontal es el sismo, se usará la ecuación 2.59 con f''_{ce} en lugar de f''_{cw} . Los esfuerzos combinados se calcularán según las ecuaciones siguientes:

I. Esfuerzo combinado en el concreto.

Si $k_{comb} < 1$, entonces:

$$f''_{cw} = \frac{f''_{cTv}k_{comb}}{k} \quad (\text{Ec. 2-59})$$

Si $k_{comb} > 1$, entonces:

$$f''_{cw-comb} = f''_{cw} + \frac{f''_{cTv}}{k} \left[\frac{2pnz+1}{2(1+pn)} \right] \quad (\text{Ec. 2-60})$$

II. Tensión combinada en el refuerzo vertical.

$$\text{Si } \frac{f_{sw}}{f_s T_v} < \frac{z}{z-k} \quad (\text{Ec. 2-61})$$

entonces se tiene la ecuación:

$$f_{sw-comb} = \frac{f_s T_v}{z-k} \left[z + pn - \sqrt{pn(pn + 2z) - 2pn(z-k) \frac{f_{sw}}{f_s T_v}} \right] \quad (\text{Ec. 2-62})$$

En caso contrario, si

$$\frac{f_{sw}}{f_s T_v} > \frac{z}{z-k} \quad (\text{Ec. 2-63})$$

la tensión combinada de carga muerta, temperatura y viento (o sismo) no rige el diseño del refuerzo vertical y debe emplearse la combinación de carga muerta más viento (o sismo). Las ecuaciones 2.61 a la 2.63 han sido escritas para el caso en que la acción es el viento. Valen igual si la acción horizontal es el sismo, poniendo el subíndice e (*earthquake, sismo en español*) en todas partes en donde aparezca el subíndice w (*wind, viento en español*).

2.3.3.9. Esfuerzos admisibles. Los esfuerzos de compresión calculados para el concreto no deberán exceder los valores admisibles que se especifican a continuación:

TABLA 2-1

Esfuerzo calculado	Esfuerzo admisible
f_{cw}	0.25 f_c
f_{ce}	0.375 f_c
f'_{cTv}, f'_{cTc}	0.4 f_c
$f'_{cw-comb}, f'_{ce-comb}$	0.67 f_c

La tensión en el acero de refuerzo no deberá exceder los siguientes valores admisibles:

TABLA 2-2

Esfuerzo calculado	Esfuerzo admisible	
	Acero grado 30	Acero grado 42
f_{sw}	1000	1200
f_{se}	1200	1440
f_{sTv} , f_{sTc}	1500	1800
$f_{sw-comb}$, $f_{se-comb}$	2000	2400

Si se usa acero cuyo límite de fluencia garantizado es superior a 30 kg/mm², se podrán emplear los valores admisibles especificados para el acero grado 30 aumentados en la proporción en que aumente el límite de fluencia, limitándose el aumento a 20% como máximo. (Los valores de la tercera columna han sido establecidos bajo este criterio).

BIBLIOGRAFÍA

- Manual de Diseño de Obras Civiles.*
 C.2.7. Chimeneas. Instituto de Investigaciones Eléctricas.
 Comisión Federal de Electricidad. 1981. México.

ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA CIMENTACIÓN, FUSTE Y TIROS

Este capítulo se aboca en su totalidad, al análisis y al diseño que se utilizaron para la concepción de la chimenea de las unidades 3 y 4. Los métodos empleados, son los mismos que se toman en consideración para analizar vigas en voladizo (cantilever): con un empotramiento en un extremo, y afectadas por una carga uniformemente repartida en toda su longitud. El análisis estructural abarca los efectos de las sollicitaciones accidentales como son las siguientes:

- I. Acción de sismo y carga permanente.
- II. Efectos por temperatura.
- III. Acción de sismo, carga permanente y temperatura.
- IV. La combinación con el viento no se incluyó en el análisis, porque sus efectos resultaron inferiores a los efectos por sismo.

Parámetros empleados en el análisis y diseño estructural:

TABLA 3-1

a) Carga permanente:	Concreto:	
	$f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$	Concreto para el fuste
	$f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$	Concreto para la cimentación
	$\gamma_c = 2400 \text{ kg/m}^3$	Peso volumétrico del concreto
	$E_c = 15000 \sqrt{f'c}$	Módulo de elasticidad del concreto
	$\mu = 0.20$	Módulo de Poisson del concreto
	Acero de refuerzo:	
	$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$	Límite de fluencia del acero
	$\gamma_s = 7850 \text{ kg/m}^3$	Peso volumétrico del acero

$E_s = 2100000 \text{ kg/cm}^2$ Módulo de elasticidad del acero

Acero en los tiros.

$f_y = 2530 \text{ kg/cm}^2$ Límite de fluencia del acero.
 $\gamma_s = 7850 \text{ kg/m}^3$ Peso volumétrico del acero
 $E_s = 2100000 \text{ kg/cm}^2$ Módulo de elasticidad del acero

Rejilla electroforjada tipo IS-05 (1 1/2" X 3/16"):

$W = 52.18 \text{ kg/m}^2$ Carga muerta

Carga viva:

$W = 500 \text{ kg/m}^2$ Combinación carga permanente
 $W_s = 250 \text{ kg/m}^2$ Combinación con sismo

Carga de viento:

$q = (0.0048)(g)(c)(v_z)^2$ Evaluación de efectos estáticos
 $VR = 170 \text{ km/hr}$ Velocidad regional
 $q_n = 1/2 \rho \cdot v_s^2 \cdot g^* / (F^* S^*) \cdot O$ Evaluación de efectos dinámicos
 $V_s = 5 (n_o) (d_m)$ Velocidad de Strouhal

Carga de sismo.

- 1 Análisis modal espectral
- 2 Aceleración horizontal del terreno = 0.28 g.
- 3 Espectro de diseño según criterio de la C.T. Petacalco Unidades 3 y 4
- 4 Elección de grados de libertad (desplazamiento horizontal de cada masa) = 20 en total
- 5 Obtención de la matriz de masas (M)
- 6 Obtención de la matriz de rigideces (K)
- 7 Solución del problema de vibraciones libres, para obtener configuraciones, frecuencias y periodos modales
- 8 Cálculo de factores de participación, ordenadas espectrales, amplitudes y respuestas modales (desplazamientos, fuerzas de inercia, fuerzas cortantes y momentos)
- 9 Contribución de los 3 primeros modos de vibrar de la estructura
- 10 Superposición de las fuerzas modales

TABLA 3- 2

b) Carga por temperatura.

Acero en tiros.

$T_{oper} = 150 \text{ }^\circ\text{C}$	Temperatura de operación
$f_y = 2243 \text{ kg/cm}^2$	Límite de fluencia del acero
$E_s = 1960984 \text{ kg/cm}^2$	Módulo de elasticidad
$T_{m\acute{a}x} = 342 \text{ }^\circ\text{C}$	Temperatura máxima
$E_s = 1860500 \text{ kg/cm}^2$	Módulo de elasticidad

TABLA 3- 3

c) Esfuerzos permisibles

Compresión en el concreto:

$f_{ce} = 0.375 f_c$	Esfuerzo al diámetro extremo
$f'_{ctv}, f'_{ctc} = 0.4 f_c$	Esfuerzo por temperatura
$f'_{ce-comb} = 0.67 f_c$	Esfuerzo máximo combinado

Tensión en el acero de refuerzo:

$f_{se} = 1440 \text{ kg/cm}^2$	Esfuerzo máximo en la sección
$f_{stv}, f_{stc} = 1800 \text{ kg/cm}^2$	Esfuerzo por temperatura
$f_{se-comb} = 2400 \text{ kg/cm}^2$	Esfuerzo máximo combinado

Capacidad del terreno:

$E = 20 \text{ ton/m}^2$	Condiciones permanentes
$E = (20 + \gamma h) 1.3 \text{ ton/m}^2$	Condiciones accidentales
$\gamma = 1800 \text{ kg/m}^3$	Peso volumétrico del suelo

3.1. DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN DE LA CHIMENEA.

3.1.1. BAJO CONDICIÓN DE CARGA PERMANENTE.

TABLA 3.1- 1

Tipo de cimentación	Zapatillas aisladas
Capacidad de carga del terreno	27200 kg/m ²
Recubrimiento del terreno	0.07 m.

Diámetro del fuste de concreto	21.30 m.
Altura N.T.P. terreno a N.D.C. zapata	4.00 m.
Peso volumétrico del relleno γ	1800 kg/m ³
Resistencia del concreto f_c	250 kg/cm ²
Peso volumétrico del concreto γ_c	2400 kg/m ³
Resistencia del acero f_y	4200 kg/cm ²

TABLA 3.1- 2

Cargas tomadas en consideración	
Carga vertical en plano de dado	6815.80 ton.
Cortante horizontal en plano dado	0 ton.
Momento sentido normal plano del dado	1109.40 ton-m

TABLA 3.1- 3

Resultados	
Diámetro de la zapata octagonal	37.80 m.
Peso total de la zapata octagonal	8518.20 ton.
Peso total del relleno sobre la zapata	2129.50 ton.
Presión máxima en la zapata	14963.20 kg/m ²
Presión mínima en la zapata	14558.90 kg/m ²
Momento de diseño en la zapata	5822.80 ton-m
Área de acero de flexión en la zapata	794.30 cm ²
Cortante de diseño en la zapata	847.50 ton.
Espesor total de la zapata	3.00 m.
Excentricidad de carga vertical	0.064
Excentricidad entre el diámetro	1.680601 E-3
Factor de seguridad al volteo	100

3.1.2. DIMENSIONES DE LA ZAPATA.

- El espesor requerido por corte a 6.49 m. al borde de la zapata es 3.00 m.
 El espesor requerido por corte a 5.99 m. al borde de la zapata es 0.66 m.
 El espesor requerido por corte a 5.49 m. al borde de la zapata es 0.62 m.
 El espesor requerido por corte a 4.99 m. al borde de la zapata es 0.57 m.
 El espesor requerido por corte a 4.49 m. al borde de la zapata es 0.52 m.
 El espesor requerido por corte a 3.99 m. al borde de la zapata es 0.47 m.
 El espesor requerido por corte a 3.49 m. al borde de la zapata es 0.42 m.
 El espesor requerido por corte a 2.99 m. al borde de la zapata es 0.37 m.
 El espesor requerido por corte a 2.49 m. al borde de la zapata es 0.31 m.
 El espesor requerido por corte a 1.99 m. al borde de la zapata es 0.25 m.

El espesor requerido por corte a 1.49 m. al borde de la zapata es 0.20 m.
 El espesor requerido por corte a 0.99 m. al borde de la zapata es 0.13 m.
 El espesor requerido por corte a 0.49 m. al borde de la zapata es 0.07 m.

3.1.3. BAJO CONDICIÓN DE CARGA PERMANENTE + SISMO.

TABLA 3.1- 4

Tipo de cimentación	Zapatas aisladas
Capacidad de carga del terreno	35360 kg/m ²
Recubrimiento del terreno	0.07 m.
Diámetro del fuste de concreto	21.30 m.
Altura N.T.P. terreno a N.D.C. zapata	4.00 m.
Peso volumétrico del relleno γ	1800 kg/m ³
Resistencia del concreto f_c	250 kg/cm ²
Peso volumétrico del concreto γ_c	2400 kg/m ³
Resistencia del acero f_y	4200 kg/cm ²

TABLA 3.1- 5

Cargas tomadas en consideración	
Carga vertical en plano de dado	6815.80 ton.
Cortante horizontal en plano dado	0 ton.
Momento sentido normal plano del dado	107673.20 ton-m

TABLA 3.1- 6

Resultados	
Diámetro de la zapata octagonal	37.80 m.
Peso total de la zapata octagonal	8518.20 ton.
Peso total del relleno sobre la zapata	2129.60 ton.
Presión máxima en la zapata	34382.80 kg/m ²
Presión mínima en la zapata	- 4860.70 kg/m ²
Momento de diseño en la zapata	20758.30 ton-m
Área de acero de flexión en la zapata	3083.90 cm ²
Cortante de diseño en la zapata	3203.70 ton.
Espesor total de la zapata	3.00 m.
Excentricidad de carga vertical	6.166
Excentricidad entre el diámetro	0.1631108
Factor de seguridad al volteo	3.1

3.1.4. DIMENSIONES DE LA ZAPATA.

El espesor requerido por corte a 6.49 m. al borde de la zapata es 3.00 m.
 El espesor requerido por corte a 5.99 m. al borde de la zapata es 2.54 m.
 El espesor requerido por corte a 5.49 m. al borde de la zapata es 2.38 m.
 El espesor requerido por corte a 4.99 m. al borde de la zapata es 2.22 m.
 El espesor requerido por corte a 4.49 m. al borde de la zapata es 2.05 m.
 El espesor requerido por corte a 3.99 m. al borde de la zapata es 1.87 m.
 El espesor requerido por corte a 3.49 m. al borde de la zapata es 1.68 m.
 El espesor requerido por corte a 2.99 m. al borde de la zapata es 1.48 m.
 El espesor requerido por corte a 2.49 m. al borde de la zapata es 1.27 m.
 El espesor requerido por corte a 1.99 m. al borde de la zapata es 1.05 m.
 El espesor requerido por corte a 1.49 m. al borde de la zapata es 0.81 m.
 El espesor requerido por corte a 0.99 m. al borde de la zapata es 0.56 m.
 El espesor requerido por corte a 0.49 m. al borde de la zapata es 0.29 m.

3.2. ANÁLISIS DEL FUSTE.**3.2.1. ANÁLISIS DE RIGIDECES DEL FUSTE.****3.2.1.1. Análisis de marcos planos.**

- I. Número de nudos = 21.
- II. Número de barras = 20.
- III. Número de soportes = 1.
- IV. Número de condiciones de carga = 1.
- V. Módulo de elasticidad = 2371708 kg/cm².

TABLA 3.2- 1

<i>Coordenadas de los nudos</i>		
Nudo	Coordenada X (m.)	Coordenada Y (m.)
1	0.00	0.00
2	0.00	7.70
3	0.00	13.40
4	0.00	20.60
5	0.00	26.60
6	0.00	30.00
7	0.00	37.60
8	0.00	42.00

9	0.00	48.00
10	0.00	56.60
11	0.00	60.00
12	0.00	66.00
13	0.00	72.00
14	0.00	78.00
15	0.00	86.60
16	0.00	90.20
17	0.00	96.20
18	0.00	102.20
19	0.00	108.20
20	0.00	114.50
21	0.00	119.50

TABLA 3.2- 2

Propiedades de las barras

Barra	Nudo I	Nudo F	Área (m ²)	Inercia (m ⁴)	Longitud (m.)
1	1	2	34.20	1690.70	7.70
2	2	3	30.90	1451.10	5.70
3	3	4	28.50	1179.90	7.20
4	4	5	24.70	990.40	6.00
5	5	6	24.10	887.40	3.40
6	6	7	20.60	693.20	7.60
7	7	8	20.10	674.60	4.40
8	8	9	19.60	656.10	6.00
9	9	10	18.80	628.40	8.60
10	10	11	18.50	619.20	3.40
11	11	12	18.00	600.90	6.00
12	12	13	17.20	573.60	6.00
13	13	14	16.60	555.40	6.00
14	14	15	15.90	528.30	8.60
15	15	16	15.60	519.30	3.60
16	16	17	15.10	501.30	6.00
17	17	18	14.30	474.50	6.00
18	18	19	13.80	456.70	6.00
19	19	20	13.30	439.00	6.30
20	20	21	12.80	421.30	5.00

El área de la barra, se refiere al área que comprende el fuste de la chimenea, o sea, al área calculada con el diámetro exterior, se le resta el área medida con el diámetro interior.

Condición de carga = 1.

Rigidez.

Número de nudos cargados = 1.

Nudo	Carga X	Carga Y	Momento Z
21	1000.	0.00	0.00

Resultados de la condición de carga 1.

Rigidez.

TABLA 3.2- 3

Nudo	Deflexión X (m.)	Deflexión Y (m.)	Giro
1	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.0009	0.0000	-0.0002
3	0.0026	0.0000	-0.0004
4	0.0065	0.0000	-0.0007
5	0.0112	0.0000	-0.0009
6	0.0145	0.0000	-0.0011
7	0.0241	0.0000	-0.0014
8	0.0309	0.0000	-0.0017
9	0.0418	0.0000	-0.0020
10	0.0603	0.0000	-0.0023
11	0.0685	0.0000	-0.0025
12	0.0842	0.0000	-0.0027
13	0.1012	0.0000	-0.0029
14	0.1194	0.0000	-0.0031
15	0.1476	0.0000	-0.0034
16	0.1600	0.0000	-0.0035
17	0.1814	0.0000	-0.0036
18	0.2035	0.0000	-0.0037
19	0.2261	0.0000	-0.0038
20	0.2503	0.0000	-0.0039
21	0.2697	0.0000	-0.0039

TABLA 3.2- 4

Barra	Momento I (ton-m)	Momento F (ton-m)	Fuerza axial
-------	-------------------	-------------------	--------------

1	119022.50	-111369.00	0.00
2	111369.00	-105703.50	0.00
3	105703.40	-98547.21	0.00
4	98547.28	-92583.56	0.00
5	92582.85	-89205.56	0.00
6	89202.89	-81650.41	0.00
7	81649.90	-77277.21	0.00
8	77277.93	-71316.60	0.00
9	71315.82	-62769.76	0.00
10	62764.74	-59380.88	0.00
11	59382.21	-53408.10	0.00
12	53409.95	-47440.24	0.00
13	47440.67	-41468.08	0.00
14	41467.00	-32905.59	0.00
15	32916.96	-29301.86	0.00
16	29307.59	-23308.33	0.00
17	23309.99	-17304.98	0.00
18	17301.42	-11300.25	0.00
19	11304.47	-4992.90	0.00
20	4991.99	-8.19	0.00

TABLA 3.2- 5

Nudo	Desplazamiento (m.)	Rigidez (ton/m)
1	0.0000	1.701412 E ³⁸
2	0.0009	1111111.00
3	0.0026	588235.30
4	0.0065	256410.30
5	0.0112	212766.00
6	0.0145	303030.30
7	0.0241	104166.70
8	0.0309	147058.80
9	0.0418	91748.12
10	0.0603	54054.06
11	0.0685	121951.30
12	0.0842	63694.25
13	0.1012	58823.54
14	0.1194	54945.05
15	0.1476	35461.00
16	0.1600	80645.16
17	0.1814	46728.96
18	0.2035	45248.87
19	0.2261	44247.80
20	0.2503	41322.33

21

0.2697

51546.39

3.2.2. ANÁLISIS SÍSMICO DEL FUSTE.

TABLA 3.2- 6

Barra (nivel)	Peso (ton.)	Altura (cm.)	Rigidez (ton/cm)	Masa (ton seg ² /cm)
1	501.10	770.00	11111.11	0.510805
2	478.30	1340.00	5882.35	0.487564
3	451.40	2060.00	2564.10	0.460143
4	508.30	2660.00	2127.66	0.518145
5	318.10	3000.00	3030.30	0.324261
6	296.60	3760.00	1041.66	0.302345
7	250.80	4200.00	1470.58	0.255658
8	343.40	4800.00	917.48	0.350051
9	428.30	5660.00	540.54	0.436595
10	208.70	6000.00	1219.51	0.212742
11	259.20	6600.00	636.94	0.264220
12	247.70	7200.00	588.23	0.252497
13	290.80	7800.00	549.45	0.296432
14	398.80	8660.00	354.61	0.406524
15	179.70	9020.00	806.45	0.183180
16	217.40	9620.00	467.28	0.221611
17	205.90	10220.00	452.48	0.209888
18	203.80	10820.00	142.47	0.207747
19	351.70	11450.00	413.22	0.358512
20	201.30	11950.00	515.46	0.205199

Resultados obtenidos del cálculo.

TABLA 3.2- 7

Modo	Período T ₁ (seg.)	Período T ₂ (seg.)	Período T ₃ (seg.)
	1.261735	0.484839	0.306650
Barra o nivel	Forma modal 1	Forma modal 2	Forma modal 3
1	1.000000	1.000000	1.000000
2	2.886737	2.874306	2.852433
3	7.201522	7.082398	6.874423
4	12.362760	11.896440	11.097270
5	15.934200	14.934900	13.265620

6	26.200870	22.993300	17.839910
7	33.339510	27.907410	19.540170
8	44.551890	34.478320	19.979530
9	62.866590	41.880940	15.298210
10	70.426330	42.644000	10.917420
11	84.317170	41.712890	1.008455
12	98.419080	37.558000	- 9.911221
13	112.394700	30.211210	- 19.689420
14	131.719300	14.586360	- 27.930210
15	138.570100	6.480982	- 25.642900
16	149.046400	- 7.934284	- 17.475080
17	158.055100	- 22.168430	- 5.146890
18	165.408300	- 34.958550	7.938154
19	171.219900	- 45.702330	20.595160
20	172.925600	- 48.976720	24.727920

TABLA 3.2- 8

Barra	Desplazamiento (cm)	Cortante (ton.)
1	0.109	1208.470
2	0.314	1206.151
3	0.782	1199.833
4	1.339	1185.383
5	1.721	1158.964
6	2.815	1138.991
7	3.570	1110.781
8	4.750	1082.596
9	6.666	1035.510
10	7.454	961.237
11	8.905	923.853
12	10.383	869.620
13	11.857	809.886
14	13.918	730.725
15	14.667	604.513
16	15.838	546.982
17	16.874	468.873
18	17.744	384.842
19	18.146	290.328
20	18.656	107.949

TABLA 3.2- 9

Masa	Peso (ton.)	Altura (m.)	Cortante (ton.)	Fuerza (ton.)	Momento (ton·m)	Carga viva (ton.)
20	201.3	5.0	107.95	108.0	0.0	201.3
19	351.7	6.3	290.33	182.4	539.8	553.0
18	203.8	6.0	384.84	94.5	2368.8	756.8
17	205.9	6.0	468.87	84.0	4677.9	962.7
16	217.4	6.0	546.98	78.1	7491.1	1180.1
15	179.7	3.6	604.51	57.5	10773.0	1359.8
14	398.8	8.6	730.73	126.2	12949.2	1758.6
13	290.8	6.0	809.89	79.2	19233.5	2049.4
12	247.7	6.0	869.62	59.7	24092.8	2297.1
11	259.2	6.0	923.85	54.2	29310.5	2556.3
10	208.7	3.4	961.24	34.7	34853.6	2765.0
9	428.3	8.6	1035.51	74.3	38121.9	3193.3
8	343.4	6.0	1082.60	47.1	47027.2	3536.7
7	250.8	4.4	1110.78	28.2	53522.8	3787.5
6	296.6	7.6	1138.99	28.2	58410.3	4084.1
5	318.1	3.4	1158.96	20.0	67.066.6	4402.2
4	508.3	6.0	1185.38	26.4	71007.1	4910.5
3	451.4	7.2	1199.83	14.4	78119.3	5361.9
2	478.3	5.7	1206.15	6.3	86758.1	5840.2
1	501.1	7.7	1208.47	2.3	93633.2	6341.3
0	358.5	3.0	1208.47	0.0	102938.4	6699.8
CIMEN	9225.4	0.0	1208.47	0.0	106563.8	15925.2

Peso total = 15925.2 ton.

3.2.3. ANÁLISIS EÓLICO DEL FUSTE.

3.2.3.1. Análisis de viento estático.

- I. Velocidad regional. $V_R = 170$ km/hr
- II. Factor de topografía. $F_T = 1$
- III. Velocidad de diseño. $V_D = 170$ km/hr
- IV. Altura sobre el nivel del mar. $h_{snm} = 0.025$ km.
- V. Coeficiente de empuje. $Q = 0.7$
- VI. Factor alfa $\alpha = 0.14$
- VII. Factor de ráfaga. $G = 1.3$

TABLA 3.2- 20

Altura de la sección (m.)	V_R (km/hr)	V_D (km/hr)	Presión (kg/m^2)	Diámetro de la sección (m.)	Altura tributaria (m.)	Fuerza (kg.)
6.7	170	221	164	20.3	6.2	20590.0
12.4	175	228	174	19.6	6.4	21796.0
19.6	187	243	198	18.8	6.6	24508.0
25.6	194	252	213	18.1	4.7	18107.0
29.0	197	257	220	17.7	5.5	21458.0
36.6	204	265	235	16.8	6.0	23714.0
41.0	207	269	243	16.8	5.2	21216.0
47.0	211	274	252	16.8	7.3	30945.0
55.6	216	281	264	16.7	6.0	26501.0
59.0	218	283	269	16.7	4.7	21107.0
65.0	221	287	276	16.7	6.0	27686.0
71.0	224	291	283	16.7	6.0	28379.0
77.0	226	294	290	16.7	7.3	35321.0
85.6	230	298	298	16.6	6.1	30221.0
89.2	231	300	302	16.6	4.8	24056.0
95.2	233	303	307	16.6	6.0	30623.0
101.2	235	306	313	16.6	6.0	31152.0
107.2	237	308	318	16.6	6.2	32714.0
113.5	239	311	323	16.5	5.7	30376.0
120.0	241	313	328	16.5	4.0	21651.0
TOTAL					120.0	522121.0

Peso total = 522121.0 kg.

3.2.3.2. Análisis de viento dinámico.

- I. Empujes dinámicos paralelos. $F(z) = GFd(z)$.
- II. Empujes dinámicos transversales.

TABLA 3.2- 11

Altura de la chimenea (m.)	Fuerza concentrada (kg.)	q_n concentrados (kg.)	Resultante total (kg.)
0.0	7946.0	6811.0	10466.0
6.7	14706.0	12605.0	19369.0
12.4	15299.0	13113.0	20150.0
19.6	16771.0	13418.0	21478.0
25.6	12577.0	9555.0	15795.0

29.0	14899.0	11182.0	18628.0
36.6	14966.0	11182.0	18682.0
41.0	14534.0	10572.0	17972.0
47.0	21382.0	14841.0	26028.0
55.6	18114.0	12198.0	21838.0
59.0	14608.0	9555.0	17455.0
65.0	18936.0	12198.0	22524.0
71.0	19488.0	12198.0	22990.0
77.0	24039.0	14840.0	28250.0
85.6	20667.0	12401.0	24110.0
89.2	16493.0	9758.0	19163.0
95.2	20904.0	12198.0	24202.0
101.2	21150.0	12198.0	24415.0
107.2	21973.0	12503.0	25281.0
113.5	20453.0	11486.0	23446.0
118.5	14888.0	8132.0	16964.0
CORTANTE DINÁMICO TOTAL			439206.0

3.2.3.3. Comparación efectos de viento estático, dinámico y sismo.

- I. Viento cortante estático total = 522.04 ton.
- II. Viento cortante dinámico total = 439.21 ton.
- III. Sismo cortante dinámico total = 1208.47 ton.

$$\frac{1208.47}{522.04} = 2.3$$

Por lo tanto, el diseño se debe basar sobre los efectos de sismo, combinados con carga permanente y temperatura.

3.2.4. DISEÑO DE LAS SECCIONES DEL FUSTE.

TABLA 3.2- 13

SECCIÓN 0	Concepto	Especificación
1	Número de la sección	0
2	Altura de la sección (h)	0.00 m.
3	Resistencia del concreto (f'c)	250 kg/cm ²
4	Peso de la sección (W)	6699.80 ton.
5	Diámetro medio de la sección (D)	20.65 m.

6	Espesor de la sección (t)	0.65 m.
7	Momento total de la sección (M)	102938.00 ton-m
8	Huecos en la sección	1
9	Dimensión del hueco #1	3.00 m.
10	Ángulo beta en grados (β)	8.323823°
11	Refuerzo recomendado	# 10 @ 15
12	Relación de módulos (es/ec)	8.854378
13	Cuantía de acero (ρ)	1.706788 E -2
14	Excentricidad/radio (e/r)	1.488072
15	Ángulo alfa en grados (α)	77°

TABLA 3.2- 14

<i>Esfuerzos de carga vertical y horizontal</i>	
Esfuerzo del concreto al diámetro extremo (fce)	93.2 kg/cm ²
Esfuerzo permisible	93.8 kg/cm ²
Esfuerzo del acero máximo en la sección (fse)	1269.0 kg/cm ²
Esfuerzo permisible	1440.0 kg/cm ²

TABLA 3.2- 15

<i>Esfuerzos por temperatura</i>	
Diámetro interior del tiro de acero	19.68 ft. (6.00 m.)
Temperatura máxima del gas	647.6 °F
Temperatura mínima del aire exterior	77 °F
Espesor fibra de vidrio	2"

TABLA 3.2- 16

<i>Esfuerzos por temperatura</i>	<i>Verticales</i>	<i>Horizontales</i>
Esfuerzo en el concreto	f ["] ctv = 8.7 kg/cm ²	f ["] ctc = 3.4 kg/cm ²
Esfuerzo permisible	100.0 kg/cm ²	100.0 kg/cm ²
Esfuerzo en el acero	f ^s tv = 150.3 kg/cm ²	f ^s tc = 205.6 kg/cm ²
Esfuerzo permisible	1800.0 kg/cm ²	1800.0 kg/cm ²

TABLA 3.2- 17

<i>Combinación de esfuerzos por carga horizontal + carga vertical + temperatura</i>	
Esfuerzo máximo combinado en el concreto (f ["] ce-comb)	105.5 kg/cm ²
Esfuerzo permisible	167.5 kg/cm ²
Esfuerzo máximo combinado en el acero (f ^s ce-comb)	1271.2 kg/cm ²

Esfuerzo permisible	2400.0 kg/cm ²
Refuerzo horizontal considerado	# 4 @ 15

TABLA 3.2- 18

SECCIÓN 1	Concepto	Especificación
1	Número de la sección	1
2	Altura de la sección (h)	7.70 m.
3	Resistencia del concreto (f'c)	250 kg/cm ²
4	Peso de la sección (W)	6341.30 ton.
5	Diámetro medio de la sección (D)	19.79 m.
6	Espesor de la sección (t)	0.61 m.
7	Momento total de la sección (M)	93633.21 ton-m
8	Huecos en la sección	0
9	Dimensión del hueco # 1	0
10	Ángulo beta en grados (β)	0
11	Refuerzo recomendado	# 10 @ 15
12	Relación de módulos (es/ec)	8.854378
13	Cuantía de acero (p)	1.734737 E -2
14	Excentricidad/radio (e/r)	1.49223
15	Ángulo alfa en grados (α)	74°

TABLA 3.2- 19

Esfuerzos de carga vertical y horizontal

Esfuerzo del concreto al diámetro extremo (fce)	85.9 kg/cm ²
Esfuerzo permisible	93.8 kg/cm ²
Esfuerzo del acero máximo en la sección (fse)	1284.9 kg/cm ²
Esfuerzo permisible	1440.0 kg/cm ²

TABLA 3.2- 110

Esfuerzos por temperatura

Diámetro interior tiro de acero	19.68 ft. (6.00 m.)
Temperatura máxima del gas	647.6 °F
Temperatura mínima del aire exterior	77 °F
Espesor fibra de vidrio	2"

TABLA 3.2- 20

<i>Esfuerzos por temperatura</i>	<i>Verticales</i>	<i>Horizontales</i>
----------------------------------	-------------------	---------------------

TABLA 3.2- 21

Combinación de esfuerzos por carga horizontal + carga vertical + temperatura

Esfuerzo máximo combinado en el concreto (f ["] ce-comb)	98.1 kg/cm ²
Esfuerzo permisible	167.5 kg/cm ²
Esfuerzo máximo combinado en el acero (fse-comb)	1287.3 kg/cm ²
Esfuerzo permisible	2400.0 kg/cm ²
Refuerzo horizontal considerado	# 4 @ 15

TABLA 3.2- 22

SECCIÓN 2 Concepto Especificación

1	Número de la sección	2
2	Altura de la sección (h)	13.40 m.
3	Resistencia del concreto (f'c)	250 kg/cm ²
4	Peso de la sección (W)	5840.20 ton.
5	Diámetro medio de la sección (D)	19.16 m.
6	Espesor de la sección (t)	0.58 m.
7	Momento total de la sección (M)	86758.1 ton-m
8	Huecos en la sección	2
9	Dimensión del hueco #1	4.30 m.
10	Dimensión del hueco #2	4.30 m.
11	Ángulo beta en grados (β)	12.85863°
12	Refuerzo recomendado	# 10 @ 15
13	Relación de módulos (es/ec)	8.854378
14	Cuantía de acero (p)	2.128931 E -2
15	Excentricidad/radio (e/r)	1.550661
16	Ángulo alfa en grados (α)	83°

TABLA 3.2- 23

Esfuerzos de carga vertical y horizontal

Esfuerzo del concreto al diámetro extremo (fce)	93.2 kg/cm ²
Esfuerzo permisible	93.8 kg/cm ²
Esfuerzo del acero máximo en la sección (fse)	1047.0 kg/cm ²
Esfuerzo permisible	1440.0 kg/cm ²

TABLA 3.2-24

Esfuerzos por temperatura

Diámetro interior tiro de acero	19.68 ft. (6.00 m.)
---------------------------------	---------------------

Temperatura máxima del gas	647.6 °F
Temperatura mínima del aire exterior	77 °F
Espesor fibra de vidrio	2"

TABLA 3.2-25

<i>Esfuerzos por temperatura</i>	<i>Verticales</i>	<i>Horizontales</i>
Esfuerzo en el concreto	$f'_{ctv} = 9.0 \text{ kg/cm}^2$	$f'_{ctc} = 3.5 \text{ kg/cm}^2$
Esfuerzo permisible	100.0 kg/cm^2	100.0 kg/cm^2
Esfuerzo en el acero	$f_{stv} = 135.2 \text{ kg/cm}^2$	$f_{stc} = 193.9 \text{ kg/cm}^2$
Esfuerzo permisible	1800.0 kg/cm^2	1800.0 kg/cm^2

TABLA 3.2-26

<i>Combinación de esfuerzos carga horizontal + carga vertical + temperatura</i>	
Esfuerzo máximo combinado en el concreto ($f'_{ce-comb}$)	105.6 kg/cm^2
Esfuerzo permisible	167.5 kg/cm^2
Esfuerzo máximo combinado en el acero ($f_{se-comb}$)	1048.9 kg/cm^2
Esfuerzo permisible	2400.0 kg/cm^2
Refuerzo horizontal considerado	# 4 @ 15

TABLA 3.2-27

SECCIÓN 3	Concepto	Especificación
1	Número de la sección	3
2	Altura de la sección (h)	20.60 m.
3	Resistencia del concreto ($f'c$)	250 kg/cm^2
4	Peso de la sección (W)	5361.90 ton.
5	Diámetro medio de la sección (D)	18.34 m.
6	Espesor de la sección (t)	0.54 m.
7	Momento total de la sección (M)	78119.30 ton-m
8	Huecos en la sección	0
9	Dimensión del hueco	0
10	Ángulo beta en grados (β)	0
11	Refuerzo recomendado	# 8 @ 12
12	Relación de módulos (es/ec)	8.854378
13	Cuantía de acero (p)	1.567175 E^{-2}
14	Excentricidad/radio (e/r)	1.588804
15	Ángulo alfa en grados (α)	74°

TABLA 3.2-28

Esfuerzos de carga vertical y horizontal

Esfuerzo del concreto al diámetro extremo (fce)	85.8 kg/cm ²
Esfuerzo permisible	93.8 kg/cm ²
Esfuerzo del acero máximo en la sección (fse)	1285.7 kg/cm ²
Esfuerzo permisible	1440.0 kg/cm ²

TABLA 3.2-29

Esfuerzos por temperatura

Diámetro interior tiro de acero	19.68 ft. (6.00 m.)
Temperatura máxima del gas	647.6 °F
Temperatura mínima del aire exterior	77 °F
Espesor fibra de vidrio	2"

TABLA 3.2-30

Esfuerzos por temperatura Verticales Horizontales

Esfuerzo en el concreto	$f'_{ctv} = 7.8 \text{ kg/cm}^2$	$f'_{ctc} = 4.2 \text{ kg/cm}^2$
Esfuerzo permisible	100.0 kg/cm ²	100.0 kg/cm ²
Esfuerzo en el acero	$f_{stv} = 139.6 \text{ kg/cm}^2$	$f_{stc} = 179.6 \text{ kg/cm}^2$
Esfuerzo permisible	1800.0 kg/cm ²	1800.0 kg/cm ²

TABLA 3.2-31

Combinación de esfuerzos carga horizontal + carga vertical + temperatura

Esfuerzo máximo combinado en el concreto ($f'_{ce-comb}$)	97.3 kg/cm ²
Esfuerzo permisible	167.5 kg/cm ²
Esfuerzo máximo combinado en el acero (fse-comb)	1288.1 kg/cm ²
Esfuerzo permisible	2400.0 kg/cm ²
Refuerzo horizontal considerado	# 4 @ 15

TABLA 3.2-32

SECCIÓN 4 Concepto Especificación

1	Número de la sección	4
2	Altura de la sección (h)	26.60 m.
3	Resistencia del concreto ($f'c$)	250 kg/cm ²
4	Peso de la sección (W)	4910.50 ton.
5	Diámetro medio de la sección (D)	17.68 m.
6	Espesor de la sección (t)	0.50 m.
7	Momento total de la sección (M)	71007.10 ton-m

8	Huecos en la sección	0
9	Dimensión del hueco	0
10	Ángulo beta en grados (β)	0
11	Refuerzo recomendado	# 8 @ 12
12	Relación de módulos (es/ec)	8.854378
13	Cuantía de acero (p)	1.692676 E -2
14	Excentricidad/radio (e/r)	1.635776
15	Ángulo alfa en grados (α)	74°

TABLA 3.2-33

Esfuerzos de carga vertical y horizontal	
Esfuerzo del concreto al diámetro extremo (fce)	89.9 kg/cm ²
Esfuerzo permisible	93.8 kg/cm ²
Esfuerzo del acero máximo en la sección (fse)	1348.6 kg/cm ²
Esfuerzo permisible	1440.0 kg/cm ²

TABLA 3.2-34

Esfuerzos por temperatura	
Diámetro interior tiro de acero	19.68 ft. (6.00 m.)
Temperatura máxima del gas	647.6 °F
Temperatura mínima del aire exterior	77 °F
Espesor fibra de vidrio	2"

TABLA 3.2-35

Esfuerzos por temperatura	Verticales	Horizontales
Esfuerzo en el concreto	f ^{ctv} = 7.6 kg/cm ²	f ^{ctc} = 4.2 kg/cm ²
Esfuerzo permisible	100.0 kg/cm ²	100.0 kg/cm ²
Esfuerzo en el acero	f ^{stv} = 130.1 kg/cm ²	f ^{stc} = 130.1 kg/cm ²
Esfuerzo permisible	1800.0 kg/cm ²	1800.0 kg/cm ²

TABLA 3.2-36

Combinación de esfuerzos carga horizontal + carga vertical + temperatura	
Esfuerzo máximo combinado en el concreto (f ^{ce-comb})	100.8 kg/cm ²
Esfuerzo permisible	167.5 kg/cm ²
Esfuerzo máximo combinado en el acero (fse-comb)	1351.1 kg/cm ²
Esfuerzo permisible	2400.0 kg/cm ²
Refuerzo horizontal considerado	# 4 @ 15

TABLA 3.2-37

SECCION 5	Concepto	Especificación
1	Número de la sección	5
2	Altura de la sección (h)	30.00 m.
3	Resistencia del concreto ($f'c$)	250 kg/cm ²
4	Peso de la sección (W)	4402.20 ton.
5	Diámetro medio de la sección (D)	17.29 m.
6	Espesor de la sección (t)	0.49 m.
7	Momento total de la sección (M)	67066.60 ton-m
8	Huecos en la sección	0
9	Dimensión del hueco	0
10	Ángulo beta en grados (β)	0
11	Refuerzo recomendado	# 8 @ 12
12	Relación de módulos (es/ec)	8.854378
13	Cuantía de acero (p)	1.727305 E -2
14	Excentricidad/radio (e/r)	1.762266
15	Ángulo alfa en grados (α)	73°

TABLA 3.2-38

Esfuerzos de carga vertical y horizontal	
Esfuerzo del concreto al diámetro extremo (fce)	88.3 kg/cm ²
Esfuerzo permisible	93.8 kg/cm ²
Esfuerzo del acero máximo en la sección (fse)	1372.5 kg/cm ²
Esfuerzo permisible	1440.0 kg/cm ²

TABLA 3.2-39

Esfuerzos por temperatura	
Diámetro interior tiro de acero	19.68 ft. (6.00 m.)
Temperatura máxima del gas	647.6 °F
Temperatura mínima del aire exterior	77 °F
Espesor fibra de vidrio	2"

TABLA 3.2-40

Esfuerzos por temperatura	Verticales	Horizontales
Esfuerzo en el concreto	$f'ctv = 7.7 \text{ kg/cm}^2$	$f'ctc = 3.5 \text{ kg/cm}^2$
Esfuerzo permisible	100.0 kg/cm ²	100.0 kg/cm ²

Esfuerzo en el acero	$f_{stv} = 129.2 \text{ kg/cm}^2$	$f_{stc} = 175.7 \text{ kg/cm}^2$
Esfuerzo permisible	1800.0 kg/cm^2	1800.0 kg/cm^2

TABLA 3.2-41

Combinación de esfuerzos carga horizontal + carga vertical + temperatura	
Esfuerzo máximo combinado en el concreto (f'_{ce} -comb)	99.3 kg/cm^2
Esfuerzo permisible	167.5 kg/cm^2
Esfuerzo máximo combinado en el acero (f_{se} -comb)	1375.0 kg/cm^2
Esfuerzo permisible	2400.0 kg/cm^2
Refuerzo horizontal considerado	# 4 @ 15

TABLA 3.2-42

SECCIÓN 6	Concepto	Especificación
1	Número de la sección	6
2	Altura de la sección (h)	37.60 m.
3	Resistencia del concreto (f'_{c})	250 kg/cm^2
4	Peso de la sección (W)	4084.10 ton.
5	Diámetro medio de la sección (D)	16.45 m.
6	Espesor de la sección (t)	0.45 m.
7	Momento total de la sección (M)	58410.30 ton-m
8	Huecos en la sección	0
9	Dimensión del hueco	0
10	Ángulo beta en grados (β)	0
11	Refuerzo recomendado	# 8 @ 12
12	Relación de módulos (es/ec)	8.854378
13	Cuantía de acero (ρ)	1.881055 E^{-2}
14	Excentricidad/radio (e/r)	1.73883
15	Ángulo alfa en grados (α)	74°

TABLA 3.2-43

Esfuerzos de carga vertical y horizontal	
Esfuerzo del concreto al diámetro extremo (f_{ce})	92.2 kg/cm^2
Esfuerzo permisible	93.8 kg/cm^2
Esfuerzo del acero máximo en la sección (f_{se})	1385.9 kg/cm^2
Esfuerzo permisible	1440.0 kg/cm^2

TABLA 3.2-44

Esfuerzos por temperatura	
Diámetro interior del tiro de acero	19.68 ft. (6.00 m.)
Temperatura máxima del gas	647.6 °F
Temperatura mínima del aire exterior	77 °F
Espesor fibra de vidrio	2"

TABLA 3.2-45

Esfuerzos por temperatura	Verticales	Horizontales
Esfuerzo en el concreto	$f'_{ctv} = 7.6 \text{ kg/cm}^2$	$f'_{ctc} = 3.5 \text{ kg/cm}^2$
Esfuerzo permisible	100.0 kg/cm^2	100.0 kg/cm^2
Esfuerzo en el acero	$f_{stv} = 120.2 \text{ kg/cm}^2$	$f_{stc} = 166.5 \text{ kg/cm}^2$
Esfuerzo permisible	1800.0 kg/cm^2	1800.0 kg/cm^2

TABLA 3.2-46

Combinación de esfuerzos carga horizontal + carga vertical + temperatura	
Esfuerzo máximo combinado en el concreto ($f'_{ce-comb}$)	102.8 kg/cm^2
Esfuerzo permisible	167.5 kg/cm^2
Esfuerzo máximo combinado en el acero ($f_{se-comb}$)	1388.4 kg/cm^2
Esfuerzo permisible	2400.0 kg/cm^2
Refuerzo horizontal considerado	# 4 @ 25

TABLA 3.2-47

SECCIÓN 7	Concepto	Especificación
1	Número de la sección	7
2	Altura de la sección (h)	42.00 m.
3	Resistencia del concreto ($f'c$)	250 kg/cm^2
4	Peso de la sección (W)	3787.50 ton.
5	Diámetro medio de la sección (D)	16.439 m.
6	Espesor de la sección (t)	0.439 m.
7	Momento total de la sección (M)	53522.80 ton-m
8	Huecos en la sección	0
9	Dimensión del hueco	0
10	Ángulo beta en grados (β)	0
11	Refuerzo recomendado	# 8 @ 12
12	Relación de módulos (es/ec)	8.854378
13	Cuantía de acero (p)	1.727305 E -2
14	Excentricidad/radio (e/r)	1.762266
15	Ángulo alfa en grados (α)	73°

TABLA 3.2-48

<i>Esfuerzos de carga vertical y horizontal</i>	
Esfuerzo del concreto al diámetro extremo (fce)	89.4 kg/cm ²
Esfuerzo permisible	93.8 kg/cm ²
Esfuerzo del acero máximo en la sección (fse)	1443.6 kg/cm ²
Esfuerzo permisible	1440.0 kg/cm ²

TABLA 3.2-49

<i>Esfuerzos por temperatura</i>	
Diámetro interior del tiro de acero	19.68 ft. (6.00 m.)
Temperatura máxima del gas	647.6 °F
Temperatura mínima del aire exterior	77 °F
Espesor fibra de vidrio	2"

TABLA 3.2-50

<i>Esfuerzos por temperatura</i>	<i>Verticales</i>	<i>Horizontales</i>
Esfuerzo en el concreto	f'ctv = 6.9 kg/cm ²	f'ctc = 3.4 kg/cm ²
Esfuerzo permisible	100.0 kg/cm ²	100.0 kg/cm ²
Esfuerzo en el acero	fstv = 121.6 kg/cm ²	fstc = 161.6 kg/cm ²
Esfuerzo permisible	1800.0 kg/cm ²	1800.0 kg/cm ²

TABLA 3.2-51

<i>Combinación de esfuerzos carga horizontal + carga vertical + temperatura</i>	
Esfuerzo máximo combinado en el concreto (f'ce-comb)	99.5 kg/cm ²
Esfuerzo permisible	167.5 kg/cm ²
Esfuerzo máximo combinado en el acero (fse-comb)	1446.3 kg/cm ²
Esfuerzo permisible	2400.0 kg/cm ²
Refuerzo horizontal considerado	# 4 @ 25

TABLA 3.2-52

SECCION 8	<i>Concepto</i>	<i>Especificación</i>
1	Número de la sección	8
2	Altura de la sección (h)	48.00 m.
3	Resistencia del concreto (f'c)	250 kg/cm ²
4	Peso de la sección (W)	3536.70 ton.

5	Diámetro medio de la sección (D)	16.425 m.
6	Espesor de la sección (t)	0.425 m.
7	Momento total de la sección (M)	47027.20 ton-m
8	Huecos en la sección	0
9	Dimensión del hueco	0
10	Ángulo beta en grados (β)	0
11	Refuerzo recomendado	# 8 @ 17
12	Relación de módulos (es/ec)	8.854378
13	Cuantía de acero (p)	1.407273 E -2
14	Excentricidad/radio (e/r)	1.619107
15	Ángulo alfa en grados (α)	72°

TABLA 3.2-53

Esfuerzos de carga vertical y horizontal	
Esfuerzo del concreto al diámetro extremo (fce)	83.7 kg/cm ²
Esfuerzo permisible	93.8 kg/cm ²
Esfuerzo del acero máximo en la sección (fse)	1353.5 kg/cm ²
Esfuerzo permisible	1440.0 kg/cm ²

TABLA 3.2-54

Esfuerzos por temperatura	
Diámetro interior del tiro de acero	19.68 ft. (6.00 m.)
Temperatura máxima del gas	647.6 °F
Temperatura mínima del aire exterior	77 °F
Espesor fibra de vidrio	2"

TABLA 3.2-55

Esfuerzos por temperatura	Verticales	Horizontales
Esfuerzo en el concreto	f ^v ctv = 6.4 kg/cm ²	f ^v ctc = 3.4 kg/cm ²
Esfuerzo permisible	100.0 kg/cm ²	100.0 kg/cm ²
Esfuerzo en el acero	f ^v stv = 119.1 kg/cm ²	f ^v stc = 155.5 kg/cm ²
Esfuerzo permisible	1800.0 kg/cm ²	1800.0 kg/cm ²

TABLA 3.2-56

Combinación de esfuerzos carga horizontal + carga vertical + temperatura	
Esfuerzo máximo combinado en el concreto (f ^v ce-comb)	93.6 kg/cm ²
Esfuerzo permisible	167.5 kg/cm ²

Esfuerzo máximo combinado en el acero (fse-comb)	1356.0 kg/cm ²
Esfuerzo permisible	2400.0 kg/cm ²
Refuerzo horizontal considerado	# 4 @ 25

TABLA 3.2-57

SECCIÓN 9	Concepto	Especificación
1	Número de la sección	9
2	Altura de la sección (h)	56.60 m.
3	Resistencia del concreto (f _c)	250 kg/cm ²
4	Peso de la sección (W)	3193.30 ton.
5	Diámetro medio de la sección (D)	16.404 m.
6	Espesor de la sección (t)	0.404 m.
7	Momento total de la sección (M)	38121.90 ton-m
8	Huecos en la sección	0
9	Dimensión del hueco	0
10	Ángulo beta en grados (β)	0
11	Refuerzo recomendado	# 6 @ 18
12	Relación de módulos (es/ec)	8.854378
13	Cuantía de acero (ρ)	7.866307 E -3
14	Excentricidad/radio (e/r)	1.45551
15	Ángulo alfa en grados (α)	69°

TABLA 3.2-58

<i>Esfuerzos de carga vertical y horizontal</i>	
Esfuerzo del concreto al diámetro extremo (f _{ce})	76.5 kg/cm ²
Esfuerzo permisible	93.8 kg/cm ²
Esfuerzo del acero máximo en la sección (f _{se})	1381.0 kg/cm ²
Esfuerzo permisible	1440.0 kg/cm ²

TABLA 3.2-59

<i>Esfuerzos por temperatura</i>	
Diámetro interior tiro de acero	19.68 ft. (6.00 m.)
Temperatura máxima del gas	647.6 °F
Temperatura mínima del aire exterior	77 °F
Espesor fibra de vidrio	2"

TABLA 3.2-60

Esfuerzos por temperatura:	Verticales	Horizontales
Esfuerzo en el concreto	$f'_{ctv} = 4.8 \text{ kg/cm}^2$	$f'_{ctc} = 3.3 \text{ kg/cm}^2$
Esfuerzo permisible	100.0 kg/cm^2	100.0 kg/cm^2
Esfuerzo en el acero	$f_{stv} = 124.8 \text{ kg/cm}^2$	$f_{stc} = 146.3 \text{ kg/cm}^2$
Esfuerzo permisible	1800.0 kg/cm^2	1800.0 kg/cm^2

TABLA 3.2-61

Combinación de esfuerzos carga horizontal + carga vertical + temperatura	
Esfuerzo máximo combinado en el concreto ($f'_{ce-comb}$)	85.7 kg/cm^2
Esfuerzo permisible	167.5 kg/cm^2
Esfuerzo máximo combinado en el acero ($f_{se-comb}$)	1383.6 kg/cm^2
Esfuerzo permisible	2400.0 kg/cm^2
Refuerzo horizontal considerado	# 4 @ 25

TABLA 3.2-62

SECCIÓN 10	Concepto	Especificación
1	Número de la sección	10
2	Altura de la sección (h)	60.00 m.
3	Resistencia del concreto (f'_c)	250 kg/cm^2
4	Peso de la sección (W)	2765.00 ton.
5	Diámetro medio de la sección (D)	16.395 m.
6	Espesor de la sección (t)	0.395 m.
7	Momento total de la sección (M)	34853.60 ton-m
8	Huecos en la sección	0
9	Dimensión del hueco	0
10	Ángulo beta en grados (β)	0
11	Refuerzo recomendado	# 6 @ 17
12	Relación de módulos (es/ec)	8.854378
13	Cuantía de acero (ρ)	8.517168 E^{-3}
14	Excentricidad/radio (e/r)	1.537698
15	Ángulo alfa en grados (α)	67°

TABLA 3.2-63

Esfuerzos de carga vertical y horizontal	
Esfuerzo del concreto al diámetro extremo (f_{ce})	73.7 kg/cm^2
Esfuerzo permisible	93.8 kg/cm^2
Esfuerzo del acero máximo en la sección (f_{se})	1432.3 kg/cm^2
Esfuerzo permisible	1440.0 kg/cm^2

TABLA 3.2-64

Esfuerzos por temperatura	
Diámetro interior del tiro de acero	19.68 ft. (6.00 m.)
Temperatura máxima del gas	647.6 °F
Temperatura mínima del aire exterior	77 °F
Espesor fibra de vidrio	2"

TABLA 3.2-65

Esfuerzos por temperatura	Verticales	Horizontales
Esfuerzo en el concreto	$f'_{ctv} = 4.8 \text{ kg/cm}^2$	$f'_{ctc} = 3.2 \text{ kg/cm}^2$
Esfuerzo permisible	100.0 kg/cm^2	100.0 kg/cm^2
Esfuerzo en el acero	$f_{stv} = 120.1 \text{ kg/cm}^2$	$f_{stc} = 142.3 \text{ kg/cm}^2$
Esfuerzo permisible	1800.0 kg/cm^2	1800.0 kg/cm^2

TABLA 3.2-66

Combinación de esfuerzos carga horizontal + carga vertical + temperatura	
Esfuerzo máximo combinado en el concreto (f'_{ce} -comb)	82.6 kg/cm^2
Esfuerzo permisible	167.5 kg/cm^2
Esfuerzo máximo combinado en el acero (f_{se} -comb)	1435.0 kg/cm^2
Esfuerzo permisible	2400.0 kg/cm^2
Refuerzo horizontal considerado	# 4 @ 25

TABLA 3.2-67

SECCIÓN 11	Concepto	Especificación
1	Número de la sección	11
2	Altura de la sección (h)	66.00 m.
3	Resistencia del concreto ($f'c$)	250 kg/cm^2
4	Peso de la sección (W)	2556.30 ton.
5	Diámetro medio de la sección (D)	16.381 m.
6	Espesor de la sección (t)	0.381 m.
7	Momento total de la sección (M)	29310.50 ton-m
8	Huecos en la sección	0
9	Dimensión del hueco	0
10	Ángulo beta en grados (β)	0
11	Refuerzo recomendado	# 6 @ 20
12	Relación de módulos (es/ec)	8.854378
13	Cuantía de acero (p)	7.510007 E -3

14	Excentricidad/radio (e/r)	1.399913
15	Ángulo alfa en grados (α)	66°

TABLA 3.2-68

Esfuerzos de carga vertical y horizontal	
Esfuerzo del concreto al diámetro extremo (fce)	70.8 kg/cm ²
Esfuerzo permisible	93.8 kg/cm ²
Esfuerzo del acero máximo en la sección (fse)	1430.2 kg/cm ²
Esfuerzo permisible	1440.0 kg/cm ²

TABLA 3.2-69

Esfuerzos por temperatura	
Diámetro interior del tiro de acero	19.68 ft. (6.00 m.)
Temperatura máxima del gas	647.6 °F
Temperatura mínima del aire exterior	77 °F
Espesor fibra de vidrio	2"

TABLA 3.2-70

Esfuerzos por temperatura	Verticales	Horizontales
Esfuerzo en el concreto	$f'_{ctv} = 4.4 \text{ kg/cm}^2$	$f'_{ctc} = 3.1 \text{ kg/cm}^2$
Esfuerzo permisible	100.0 kg/cm ²	100.0 kg/cm ²
Esfuerzo en el acero	$f_{stv} = 117.0 \text{ kg/cm}^2$	$f_{stc} = 136.1 \text{ kg/cm}^2$
Esfuerzo permisible	1800.0 kg/cm ²	1800.0 kg/cm ²

TABLA 3.2-71

Combinación de esfuerzos: carga horizontal + carga vertical + temperatura	
Esfuerzo máximo combinado en el concreto ($f'_{ce-comb}$)	79.4 kg/cm ²
Esfuerzo permisible	167.5 kg/cm ²
Esfuerzo máximo combinado en el acero (fse-comb)	1432.9 kg/cm ²
Esfuerzo permisible	2400.0 kg/cm ²
Refuerzo horizontal considerado	# 4 @ 25

TABLA 3.2-72

SECCION 12	Concepto	Especificación
1	Número de la sección	12

2	Altura de la sección (h)	72.00 m.
3	Resistencia del concreto (f'_c)	250 kg/cm ²
4	Peso de la sección (W)	2297.10 ton.
5	Diámetro medio de la sección (D)	16.366 m.
6	Espesor de la sección (t)	0.366 m.
7	Momento total de la sección (M)	24092.80 ton-m
8	Huecos en la sección	0
9	Dimensión del hueco	0
10	Ángulo beta en grados (β)	0
11	Refuerzo recomendado	# 4 @ 20
12	Relación de módulos (es/ec)	8.854378
13	Cuantía de acero (ρ)	3.474595 E -3
14	Excentricidad/radio (e/r)	1.281725
15	Ángulo alfa en grados (α)	64°

TABLA 3.2-73

Esfuerzos de carga vertical y horizontal

Esfuerzo del concreto al diámetro extremo (f_{ce})	61.3 kg/cm ²
Esfuerzo permisible	93.8 kg/cm ²
Esfuerzo del acero máximo en la sección (f_{se})	1336.9 kg/cm ²
Esfuerzo permisible	1440.0 kg/cm ²

TABLA 3.2-74

Esfuerzos por temperatura

Diámetro interior del tiro de acero	19.68 ft. (6.00 m.)
Temperatura máxima del gas	647.6 °F
Temperatura mínima del aire exterior	77 °F
Espesor fibra de vidrio	2"

TABLA 3.2-75

Esfuerzos por temperatura	Verticales	Horizontales
Esfuerzo en el concreto	$f'_{ctv} = 3.0 \text{ kg/cm}^2$	$f'_{ctc} = 3.1 \text{ kg/cm}^2$
Esfuerzo permisible	100.0 kg/cm ²	100.0 kg/cm ²
Esfuerzo en el acero	$f_{stv} = 123.5 \text{ kg/cm}^2$	$f_{stc} = 129.5 \text{ kg/cm}^2$
Esfuerzo permisible	1800.0 kg/cm ²	1800.0 kg/cm ²

TABLA 3.2-76

Combinación de esfuerzos: carga horizontal + carga vertical + temperatura

Esfuerzo máximo combinado en el concreto (f'_{ce} -comb)	69.6 kg/cm ²
Esfuerzo permisible	167.5 kg/cm ²
Esfuerzo máximo combinado en el acero (f_{se} -comb)	1339.4 kg/cm ²
Esfuerzo permisible	2400.0 kg/cm ²
Refuerzo horizontal considerado	# 4 @ 25

TABLA 3.2-77

SECCIÓN 13 Concepto Especificación

1	Número de la sección	13
2	Altura de la sección (h)	78.00 m.
3	Resistencia del concreto ($f'c$)	250 kg/cm ²
4	Peso de la sección (W)	2049.40 ton.
5	Diámetro medio de la sección (D)	16.351 m.
6	Espesor de la sección (t)	0.351 m.
7	Momento total de la sección (M)	19233.50 ton-m
8	Huecos en la sección	0
9	Dimensión del hueco	0
10	Ángulo beta en grados (β)	0
11	Refuerzo recomendado	# 4 @ 30
12	Relación de módulos (es/ec)	8.854378
13	Cuantía de acero (ρ)	2.420075 E ⁻³
14	Excentricidad/radio (e/r)	1.147935
15	Ángulo alfa en grados (α)	64°

TABLA 3.2-78

Esfuerzos de carga vertical y horizontal

Esfuerzo del concreto al diámetro extremo (f_{ce})	55.0 kg/cm ²
Esfuerzo permisible	93.8 kg/cm ²
Esfuerzo del acero máximo en la sección (f_{se})	1201.1 kg/cm ²
Esfuerzo permisible	1440.0 kg/cm ²

TABLA 3.2-79

Esfuerzos por temperatura

Diámetro interior del tiro de acero	19.68 ft. (6.00 m.)
Temperatura máxima del gas	647.6 °F
Temperatura mínima del aire exterior	77 °F
Espesor fibra de vidrio	2"

TABLA 3.2-80

Esfuerzos por temperatura	Verticales	Horizontales
Esfuerzo en el concreto	$f'_{ctv} = 2.4 \text{ kg/cm}^2$	$f'_{ctc} = 3.0 \text{ kg/cm}^2$
Esfuerzo permisible	100.0 kg/cm^2	100.0 kg/cm^2
Esfuerzo en el acero	$f_{stv} = 121.2 \text{ kg/cm}^2$	$f_{stc} = 122.9 \text{ kg/cm}^2$
Esfuerzo permisible	1800.0 kg/cm^2	1800.0 kg/cm^2

TABLA 3.2-81

Combinación de esfuerzos: carga horizontal + carga vertical + temperatura	
Esfuerzo máximo combinado en el concreto ($f'_{ce-comb}$)	63.2 kg/cm^2
Esfuerzo permisible	167.5 kg/cm^2
Esfuerzo máximo combinado en el acero ($f_{se-comb}$)	1203.4 kg/cm^2
Esfuerzo permisible	2400.0 kg/cm^2
Refuerzo horizontal considerado	# 4 @ 25

3.3. ANÁLISIS DE LOS TIROS.

3.3.1. ANÁLISIS DE RIGIDECES DE LOS TIROS.

3.3.1.1. Análisis de marcos planos.

- I. Número de nudos: 7
- II. Número de barras: 6
- III. Número de soportes: 1
- IV. Número de condiciones de carga: 1
- V. Módulo de elasticidad: 2100000 kg/cm^2

TABLA 3.3- 1

Coordenadas de los nudos		
Nudo	Coordenada X (m.)	Coordenada Y (m.)
1	0.000	0.000
2	0.000	5.000
3	0.000	10.000
4	0.000	15.000
5	0.000	20.000
6	0.000	25.000

7	0.000	29.700
---	-------	--------

TABLA 3.3- 2

Propiedades de las barras

Barra	Nudo I	Nudo F	Área (m ²)	Inercia (cm ⁴)	Longitud (m.)
1	1	2	0.120000	0.540000	5.000
2	2	3	0.120000	0.540000	5.000
3	3	4	0.120000	0.540000	5.000
4	4	5	0.120000	0.540000	5.000
5	5	6	0.120000	0.540000	5.000
6	6	7	0.120000	0.540000	4.700

Condición de carga; 1

Rigidez

Número de nudos cargados; 1

Nudo	Carga X	Carga Y	Momento Z
7	100.00	0.00	0.00

Resultados de la condición de carga 1

Rigidez

TABLA 3.3- 3

Nudo Deflexión X (m.) Deflexión Y (m.) Giro

Nudo	Deflexión X (m.)	Deflexión Y (m.)	Giro
1	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.0031	0.0000	-0.0012
3	0.0116	0.0000	-0.0022
4	0.0245	0.0000	-0.0029
5	0.0406	0.0000	-0.0035
6	0.0589	0.0000	-0.0038
7	0.0770	0.0000	-0.0039

TABLA 3.3- 4

Barra	Momento I (ton-m)	Momento F (ton-m)	Fuerza axial
1	2970.19	-2470.15	0.00
2	2470.15	-1970.12	0.00
3	1970.11	-1470.08	0.00
4	1470.07	-970.04	0.00
5	970.04	-469.98	0.00
6	470.01	0.02	0.00

Factor de ductilidad = 2

TABLA 3.3- 5

Nivel	Peso (ton.)	Altura (cm.)	Rigidez (ton/cm)	Masa (ton-seg ² /cm)
1	5.25	500.00	322.58	0.005352
2	5.25	1000.00	117.64	0.005352
3	5.25	1500.00	77.51	0.005352
4	5.25	2000.00	62.11	0.005352
5	5.25	2500.00	54.64	0.005352
6	2.47	2970.00	55.24	0.002518

Resultados del análisis

TABLA 3.3- 6

Modo 1	Período T (seg.)	Modo 2	Período T (seg.)
	0.170237		0.062936
Nivel	Forma modal	Nivel	Forma modal
1	1000000	1	1000000
2	3.680124	2	3.288679
3	7.401720	3	4.499141
4	11.177290	4	2.145894
5	13.977740	5	-2.623902
6	14.903070	6	-4.808250

TABLA 3.3- 7

Nivel	Desplazamiento dinámico (cm.)	Esfuerzo dinámico (ton.)
1	0.024	7.680
2	0.087	7.478
3	0.175	6.781

4	0.264	5.535
5	0.332	3.739
6	0.356	1.292

TABLA 3.3- 8

Nivel	Desplazamiento (cm.)	Rigidez (ton/cm)
	0	1.701412 E ³⁸
1	0.0031	32258.07
2	0.0116	11764.71
3	0.0245	7751.939
4	0.0406	6211.179
5	0.0589	5464.482
6	0.0770	5524.862

3.3.2. DISEÑO SÍSMICO DE LOS TIROS.

TABLA 3.3- 9

Número de masa	Peso (ton.)	Altura (m.)	Esfuerzos (ton.)	Fuerza (ton.)	Momento (ton-m)	Carga (ton.)
6	2.5	4.7	1.29	1.3	0.0	2.5
5	5.3	5.0	3.74	2.4	6.1	7.7
4	5.3	5.0	5.54	1.8	24.8	13.0
3	5.3	5.0	6.78	1.2	52.4	18.2
2	5.3	5.0	7.48	0.7	86.3	23.5
1	5.3	5.0	7.68	0.2	123.7	28.7

Peso total del tiro = 28.7 ton.

3.3.3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS TIROS.

- I. Diámetro interior: 6.00 m.
- II. Longitud considerada del tiro: 29.70 m.
- III. Espesor de la placa de acero: 0.25 pulgadas.
- IV. Temperatura normal de operación: 293 °F
- V. Módulo de elasticidad para la temperatura de operación: 1965686.0 kg/cm²
- VI. Limite de fluencia del acero para la temperatura de operación: 2247.5 kg/cm²
- VII. Temperatura accidental de operación: 647.6 °F
- VIII. Módulo de elasticidad para la temperatura accidental: 1845913.0 kg/cm²

- IX. Limite de fluencia del acero para la temperatura accidental: 1874.1 kg/cm²
- X. Espesor del aislamiento de fibra de vidrio: 2 pulgadas.
- XI. Peso del aislamiento y herrajes adicionales: 3161.456 kg.
- XII. Peso del acero del tiro: 27899.19 kg.
- XIII. Peso del tiro más aislamiento: 31060.65 kg.
- XIV. Momento causado por sismo: 24.74 ton-m

3.3.3.1. Resultado de esfuerzos.

I. Carga vertical más sismo.

- a) Esfuerzo de carga vertical; 26.0 kg/cm²
- b) Esfuerzo de carga sísmica; 13.8 kg/cm²
- c) Esfuerzo de carga vertical más sismo; 39.7 kg/cm²
- d) Cargas diferenciales de temperatura normal; (10% de la temperatura normal)
- e) Temperatura diferencial a considerar; 29.3 °F
- f) Carga equivalente por temperatura en el extremo del tiro; 4330.4 kg.
- g) Esfuerzo longitudinal por temperatura diferencial; 71.7 kg/cm²
- h) Esfuerzo radial por temperatura diferencial; 108.3 kg/cm²
- i) Suma total de esfuerzos en sentido longitudinal por temperatura; 179.9 kg/cm²
- j) Cargas diferenciales de temperatura accidental; (5% de la temperatura accidental)
- k) Temperatura diferencial a considerar; 32.38 °F
- l) Carga equivalente por temperatura en el extremo del tiro; 4332.6 kg.
- m) Esfuerzo longitudinal por temperatura diferencial; 71.7 kg/cm²
- n) Esfuerzo radial por temperatura diferencial; 115.4 kg/cm²
- o) Suma total de esfuerzos en sentido longitudinal por temperatura; 187.0 kg/cm²

II. Combinación de esfuerzos.

- I. 100% carga vertical + 25% sismo + 100% temperatura normal = 209.3 kg/cm²
- II. Esfuerzo permisible 0.5 fy normal = 1123.8 kg/cm²
- III. 100% carga vertical + 100% sismo + 100% temperatura normal = 219.7 kg/cm²
- IV. Esfuerzo permisible 0.67 fy normal = 1505.8 kg/cm²
- V. 100% carga vertical + 25% sismo + 100% temperatura accidental = 216.4 kg/cm²
- VI. Esfuerzo permisible 0.75 fy accidental = 1405.6 kg/cm²
- VII. Deformación del tiro debida a temperatura normal; 0.05 m.
- VIII. Deformación del tiro debida a temperatura accidental; 0.11 m.

3.3.4. DISEÑO DE LAS TRABES DE ACERO PARA LOS TIROS.

TABLA 3.3- 10

TRABE #5A	
Carga distribuida + peso propio	260.00 kg/m
Claro de la viga	5.85 m.
Momento en el apoyo izquierdo	0.00 ton-m
Momento en el apoyo derecho	0.00 ton-m
Número de cargas	1
Peso de la carga #1	1300.00 kg.
Localización de la carga #1	2.10 m.
Carga axial P	0.00 ton.
Momento de diseño en Y	0.00 ton-m
Longitud sin arriostrar	585.00 cm.

TABLA 3.3- 11

Perfil	203x102 IPR	203x133 IPR	254x102 IPR	305x102 IPR
Peso (kg/m)	22.40	25.30	22.40	20.90
Área (cm ²)	28.58	32.26	28.38	26.71
Inercia (cm ⁴)	1998.00	2348.00	2864.00	3671.00
Módulo sección x	193.00	231.00	226.00	243.00
Esfuerzo admisible	1408.10	1457.70	1399.60	1385.50
Momento máximo (ton-m)	2.80	2.80	2.80	2.80
Factor intermedio	1.02	0.82	0.88	0.82
Flecha (cm.)	2.10	1.78	1.46	1.14

Reacción en el apoyo izquierdo; 1.59 ton.

Reacción en el apoyo derecho; 1.23 ton.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

TABLA 3.3- 12

TRABE #10	
Carga distribuida + peso propio	220.00 kg/m
Claro de la viga	2.28 m.
Momento en el apoyo izquierdo	0.00 ton-m

Momento en el apoyo derecho	0.00 ton-m
Número de cargas	1
Peso de la carga #1	1040.00 kg.
Localización de la carga #1	1.40 m.
Carga axial P	0.00 ton.
Momento de diseño en Y	0.00 ton-m
Longitud sin arriostrar	275.00 cm.
Reacción en el apoyo izquierdo	0.65 ton.
Reacción en el apoyo derecho	0.89 ton.

TABLA 3.3- 13

TRABET-11A	
Carga distribuida + peso propio	775.00 kg/m
Claro de la viga	4.45 m.
Momento en el apoyo izquierdo	0.00 ton-m
Momento en el apoyo derecho	0.00 ton-m
Número de cargas	2
Peso de la carga #1	1340.00 kg.
Localización de la carga #1	0.25 m.
Peso de la carga #2	1080.00 kg.
Localización de la carga #1	1.60 m.
Carga axial P	0.00 ton.
Momento de diseño en Y	0.00 ton-m
Longitud sin arriostrar	285.00 cm.

TABLA 3.3- 14

Perfil	203x133, IPR	254x102, IPR	305x102, IPR
Peso (kg/m)	25.30	22.40	20.90
Área (cm ²)	32.26	28.38	26.71
Inercia (cm ⁴)	2348.00	2864.00	3671.00
Módulo sección x	231.00	226.00	243.00
Esfuerzo admisible	1510.40	1491.40	1488.10
Momento máximo (ton-m)	3.10	3.10	3.10
Factor intermedio	0.89	0.92	0.85
Flecha (cm.)	1.25	1.02	0.80

Reacción en el apoyo izquierdo; 3.68 ton.

Reacción en el apoyo derecho; 2.19 ton.

TABLA 3.3- 15

TRABE T-13A	
Carga distribuida + peso propio	950.00 kg/m
Claro de la viga	5.15 m.
Momento en el apoyo izquierdo	0.00 ton-m
Momento en el apoyo derecho	0.00 ton-m
Número de cargas	2
Peso de la carga #1	270.00 kg.
Localización de la carga #1	1.15 m.
Peso de la carga #2	810.00 kg.
Localización de la carga #1	1.95 m.
Carga axial P	0.00 ton.
Momento de diseño en Y	0.00 ton-m
Longitud sin arriostrar	275.00 cm.

TABLA 3.3- 16

Perfil	203x133 IPR	254x102 IPR	305x102 IPR
Peso (kg/m)	29.80	28.30	24.60
Área (cm ²)	37.93	36.19	31.35
Inercia (cm ⁴)	2880.00	4004.00	4383.00
Módulo sección x	279.00	308.00	286.00
Esfuerzo admisible	1520.00	1495.10	1492.00
Momento máximo (ton-m)	4.20	4.20	4.20
Factor intermedio	0.98	0.90	0.98
Flecha (cm.)	1.87	1.34	1.23

Reacción en el apoyo izquierdo; 3.16 ton.

Reacción en el apoyo derecho; 2.81 ton.

TABLA 3.3- 17

TRABE T-14A	
Carga distribuida + peso propio	930.00 kg/m
Claro de la viga	4.60 m.
Momento en el apoyo izquierdo	0.00 ton-m
Momento en el apoyo derecho	0.00 ton-m
Número de cargas	0
Carga axial P	0.00 ton.

Momento de diseño en Y	0.00 ton-m
Longitud sin arriostrar	460.00 cm.

TABLA 3.3- 18

Perfil	152x102 IPR	203x102 IPR	203x102 IPR	254x102 IPR
Peso (kg/m)	23.80	19.40	22.40	17.10
Área (cm ²)	30.45	24.71	28.58	21.87
Inercia (cm ⁴)	1319.00	1644.00	1998.00	2160.00
Módulo sección x	165.00	162.00	193.00	172.00
Esfuerzo admisible	1456.20	1448.80	1450.80	1441.40
Momento máximo (ton-m)	2.50	2.50	2.50	2.50
Factor intermedio	1.02	1.05	0.88	0.99
Flecha (cm.)	1.96	1.57	1.29	1.20

Reacción en el apoyo izquierdo; 2.14 ton.

Reacción en el apoyo derecho; 2.14 ton.

TABLA 3.3- 19

TRABE T-15A	
Carga distribuida + peso propio	0.00 kg/m
Claro de la viga	3.40 m.
Momento en el apoyo izquierdo	0.00 ton-m
Momento en el apoyo derecho	0.00 ton-m
Número de cargas	1
Peso de la carga #1	1800.00 kg.
Localización de la carga #1	1.95 m.
Carga axial P	0.00 ton.
Momento de diseño en Y	0.00 ton-m
Longitud sin arriostrar	195.00 cm.

TABLA 3.3- 20

Perfil	152x102 IPR
Peso (kg/m)	17.90
Área (cm ²)	22.77
Inercia (cm ⁴)	903.00
Módulo sección x	119.00

Esfuerzo admisible	1520.00
Momento máximo (ton-m)	1.50
Factor intermedio	0.82
Flecha (cm.)	0.75

Reacción en el apoyo izquierdo; 0.77 ton.

Reacción en el apoyo derecho; 1.03 ton.

TABLA 3.3- 21

TRABE T-17 (Carga vertical; sismo; temperatura): 0.75	
Carga distribuida + peso propio	263.00 kg/m
Claro de la viga	6.56 m.
Momento en el apoyo izquierdo	0.00 ton-m
Momento en el apoyo derecho	0.00 ton-m
Número de cargas	3
Peso de la carga #1	170.00 kg.
Localización de la carga #1	1.92 m.
Peso de la carga #2	27850.00 kg.
Localización de la carga #2	3.28 m.
Peso de la carga #3	170.00 kg.
Localización de la carga #3	4.64 m.
Carga axial P	0.00 ton.
Momento de diseño en Y	0.00 ton-m
Longitud sin arriostrar	192.00 cm.

TABLA 3.3- 22

Perfil	Peso (kg/m)	Area (cm ²)	Inercia (cm ⁴)	Módulo sección X	Esfuerzo admisible	Momento máximo (ton-m)	Factor intermedio	Flecha (cm.)
457x298 IPR	143	182.6	69706	3021	1520.0	47.4	1.03	1.17
457x298 IPR	156.5	199.09	77106	3313	1520.0	47.4	0.94	1.06
457x298 IPR	170	216.19	84653	3606	1520.0	47.4	0.87	0.97
457x305 IPC	134	168.24	68792	3009	1520.0	47.4	1.04	1.19
457x305 IPC	149	187.10	76698	3351	1520.0	47.4	0.93	1.07

610x305 IPC	113	142.64	98068	3217	1520.0	47.4	0.97	0.83
686x305 IPC	103	129.84	106751	3113	1520.0	47.4	1.00	0.77
686x305 IPC	118	148.69	127108	3707	1520.0	47.4	0.84	0.64
762x305 IPC	108	135.89	135114	3546	1520.0	47.4	0.88	0.60
838x305 IPC	108	136.09	143316	3420	1520.0	47.4	0.91	0.57
914x305 IPC	116	143.35	175834	3846	1520.0	47.4	0.81	0.46

Reacción en el apoyo izquierdo; 14.96 ton.

Reacción en el apoyo derecho; 14.96 ton.

TABLA 3.3- 23

TRABE T-18A	
Carga distribuída + peso propio	780.00 kg/m
Claro de la viga	4.45 m.
Momento en el apoyo izquierdo	0.00 ton-m
Momento en el apoyo derecho	0.00 ton-m
Número de cargas	1
Peso de la carga #1	2210.00 kg.
Localización de la carga #1	4.25 m.
Carga axial P	0.00 ton.
Momento de diseño en Y	0.00 ton-m
Longitud sin arriostrar	445.00 cm.

TABLA 3.3- 24

Perfil	152x102 IPR	203x102 IPR	254x102 IPR
Peso (kg/m)	23.80	24.71	17.10
Área (cm ²)	30.45	24.71	21.87
Inercia (cm ⁴)	1319.00	1644.00	2160
Módulo sección x	165.00	162.00	172.00
Esfuerzo admisible	1460.30	1453.40	1446.40
Momento máximo (ton-m)	2.20	2.20	2.20
Factor intermedio	0.90	0.92	0.87
Flecha (cm.)	0.53	0.43	0.32

Reacción en el apoyo izquierdo; 1.83 ton.

Reacción en el apoyo derecho; 3.85 ton.

TABLA 3.3- 25

TRABE 19A	
(Carga vertical; sismo; temperatura) 0;75	
Peralte de la trabe	147.60 cm.
Ancho del patín	35.60 cm.
Espesor del patín	2.22 cm.
Espesor del alma	1.00 cm.
Carga distribuida + peso propio	188.00 kg/m
Claro de la viga	15.90 m.
Momento en el apoyo izquierdo	0.00 ton-m
Momento en el apoyo derecho	0.00 ton-m
Número de cargas	12

TABLA 3.3- 26

Numero de la carga	Peso de la carga (kg)	Localización (m.)
1	1658.0	0.25
2	5978.0	0.94
3	1245.0	2.86
4	29280.0	4.22
5	1598.0	5.58
6	7380.0	7.50
7	7380.0	8.40
8	1598.0	10.32
9	29280.0	11.68
10	1245.0	13.04
11	5978.0	14.96
12	1658.0	15.65

Carga axial P; 0.00 ton.

Momento de diseño en Y; 0.00 ton-m

Longitud sin arriostrar; 195.0 cm.

TABLA 3.3- 27

Perfil	TRABE T-19A
Peso (kg/m)	237.10
Área (cm ²)	301.22
Inercia (cm ⁴)	1079752.00
Módulo sección x	14631.00
Esfuerzo admisible	1520.00
Momento máximo (ton-m)	203.40
Factor intermedio	0.91
Flecha (cm.)	2.07

Reacción en el apoyo izquierdo; 48.63 ton.

Reacción en el apoyo derecho; 48.63 ton.

3.4. ANÁLISIS DE LA LOSA DE CUBIERTA.

Para efectuar el análisis estructural de la losa de cubierta de la chimenea, será necesario tomar en consideración las fuerzas que inciden directamente en la reacción de la mencionada losa, como pueden ser las siguientes:

3.4.1. ANÁLISIS DE CARGAS.

TABLA 3.4- 1

CARGA MUERTA	LOSA DE AZOTEA		CHIMENEA
	Espesor (m.)	Densidad (kg/m ³)	Peso (kg/m ²)
Enladrillado	0.02	1800.00	36.00
Mortero	0.015	2000.00	30.00
Impermeabilizante	1.00	10.00	10.00
Peso de la losa	0.18	2400.00	432.00
CARGA MUERTA			508.00
CARGA VIVA			100.00
CARGA MUERTA + CARGA VIVA			608.00

TABLA 3.4- 2

TRABE T-20	LOSA DE CUBIERTA
Carga distribuida + peso propio	325.00 kg/m

Claro de la viga	2.80 m.
Momento en el apoyo izquierdo	0.00 ton-m
Momento en el apoyo derecho	0.00 ton-m
Número de cargas	0
Carga axial P	0.00 ton.
Momento de diseño en Y	0.00 ton-m
Longitud sin arriostrar	280.00 cm.
Reacción en el apoyo izquierdo	0.46 ton.
Reacción en el apoyo derecho	0.46 ton.

TABLA 3.4- 3

TRABE T-21		LOSA DE CUBIERTA	
Carga distribuida + peso propio	395.00 kg/m		
Claro de la viga	6.56 m.		
Momento en el apoyo izquierdo	0.00 ton-m		
Momento en el apoyo derecho	0.00 ton-m		
Número de cargas	2		
Peso de la carga #1	455.00 kg.		
Localización de la carga #1	1.92 m.		
Peso de la carga #2	455.00 kg.		
Localización de la carga #2	4.64 m.		
Carga axial P	0.00 ton.		
Momento de diseño en Y	0.00 ton-m		
Longitud sin arriostrar	585.00 cm.		

TABLA 3.4- 4

Perfil	203x102 IPR	203x133 IPR	254x102 IPR	305x102 IPR
Peso (kg/m)	22.40	25.30	22.40	20.90
Área (cm ²)	28.58	32.26	28.38	26.71
Inercia (cm ⁴)	1998.00	2348.00	2864.00	3671.00
Módulo sección x	193.00	231.00	226.00	243.00
Esfuerzo admisible	1520.00	1520.00	1520.00	1520.00
Momento máximo (ton-m)	3.00	3.00	3.00	3.00
Factor intermedio	1.02	0.85	0.87	0.81
Flecha (cm.)	3.22	2.74	2.24	1.75

Reacción en el apoyo izquierdo; 1.75 ton.

Reacción en el apoyo derecho; 1.75 ton.

TABLA 3.4- 5

TRABE T-22	LOSA DE CUBIERTA
Carga distribuida + peso propio	1516.00 kg/m
Claro de la viga	3.90 m.
Momento en el apoyo izquierdo	0.00 ton-m
Momento en el apoyo derecho	0.00 ton-m
Número de cargas	0
Carga axial P	0.00 ton.
Momento de diseño en Y	0.00 ton-m
Longitud sin arriostrar	20.00 cm.

TABLA 3.4- 6

Perfil	203x102 IPR	203x133 IPR	254x102 IPR
Peso (kg/m)	22.40	25.30	22.40
Área (cm ²)	28.58	32.26	28.38
Inercia (cm ⁴)	1998.00	2348.00	2864.00
Módulo sección x	193.00	231.00	226.00
Esfuerzo admisible	1520.00	1520.00	1520.00
Momento máximo (ton-m)	2.90	2.90	2.90
Factor intermedio	0.98	0.82	0.84
Flecha (cm.)	1.09	0.93	0.76

Reacción en el apoyo izquierdo; 2.96 ton.

Reacción en el apoyo derecho; 2.96 ton.

TABLA 3.4- 7

TRABE T-23	LOSA DE CUBIERTA
Carga distribuida + peso propio	1766.00 kg/m
Claro de la viga	4.72 m.
Momento en el apoyo izquierdo	0.00 ton-m
Momento en el apoyo derecho	0.00 ton-m
Número de cargas	0
Carga axial P	0.00 ton.
Momento de diseño en Y	0.00 ton-m
Longitud sin arriostrar	20.00 cm.

TABLA 3.4- 8

Perfil	254x146 IPR	305x102 IPR
Peso (kg/m)	31.30	28.30
Área (cm ²)	39.93	36.25
Inercia (cm ⁴)	4454	5415.00
Módulo sección x	352.00	350.00
Esfuerzo admisible	1520.00	1520.00
Momento máximo (ton-m)	4.90	4.90
Factor intermedio	0.92	0.92
Flecha (cm.)	1.22	1.00

Reacción en el apoyo izquierdo; 4.17 ton.

Reacción en el apoyo derecho; 4.17 ton.

TABLA 3.4- 9

TRABE T-24 LOSA DE CUBIERTA	
Carga distribuida + peso propio	859.00 kg/m
Claro de la viga	14.68 m.
Momento en el apoyo izquierdo	0.00 ton-m
Momento en el apoyo derecho	0.00 ton-m
Número de cargas	11

TABLA 3.4- 10

Número de la carga	Peso de la carga (kg.)	Localización (m.)
1	1750.0	2.50
2	455.0	2.17
3	2956.0	3.82
4	455.0	4.97
5	2029.0	6.89
6	4167.0	7.34
7	2029.0	7.79
8	455.0	9.71
9	2956.0	10.86
10	455.0	12.51
11	1750.0	14.43

Carga axial P; 0.00 ton.

Momento de diseño en Y; 0.00 ton-m

Longitud sin arriostrar; 20.0 cm.

TABLA 3.4- 11

Perfil	762x406 IPC	762x406 IPC	838x406 IPC	914x305 IPC	914x305 IPC
Peso (kg/m)	137.00	157.00	143.00	128.00	143.00
Área (cm ²)	173.39	198.59	180.64	162.10	180.84
Inercia (cm ⁴)	176628.00	210519.00	218494.00	213146.00	249928.00
Módulo sección x	4636.00	5525.00	5213.00	4662.00	5466.00
Esfuerzo admisible	1520.00	1520.00	1520.00	1520.00	1520.00
Momento máximo (ton-m)	69.40	69.40	69.40	69.40	69.40
Factor intermedio	0.98	0.83	0.88	0.98	0.83
Flecha (cm.)	3.61	3.03	2.92	2.99	2.55

Reacción en el apoyo izquierdo; 15.77 ton.

Reacción en el apoyo derecho; 16.30 ton.

TABLA 3.4- 12

TRABE T-25	LOSA DE CUBIERTA
Carga distribuida + peso propio	480.00 kg/m
Claro de la viga	6.56 m.
Momento en el apoyo izquierdo	0.00 ton-m
Momento en el apoyo derecho	0.00 ton-m
Número de cargas	2
Peso de la carga #1	455.00 kg.
Localización de la carga #1	1.92 m.
Peso de la carga #2	455.00 kg.
Localización de la carga #2	4.64 m.
Carga axial P	0.00 ton.
Momento de diseño en Y	0.00 ton-m
Longitud sin arriostrar	20.00 cm.

TABLA 3.4- 13

Perfil	203x133 IPR	203x133 IPR	254x102 IPR	254x102 IPR	305x102 IPR
Peso (kg/m)	25.30	29.80	22.40	25.30	20.90

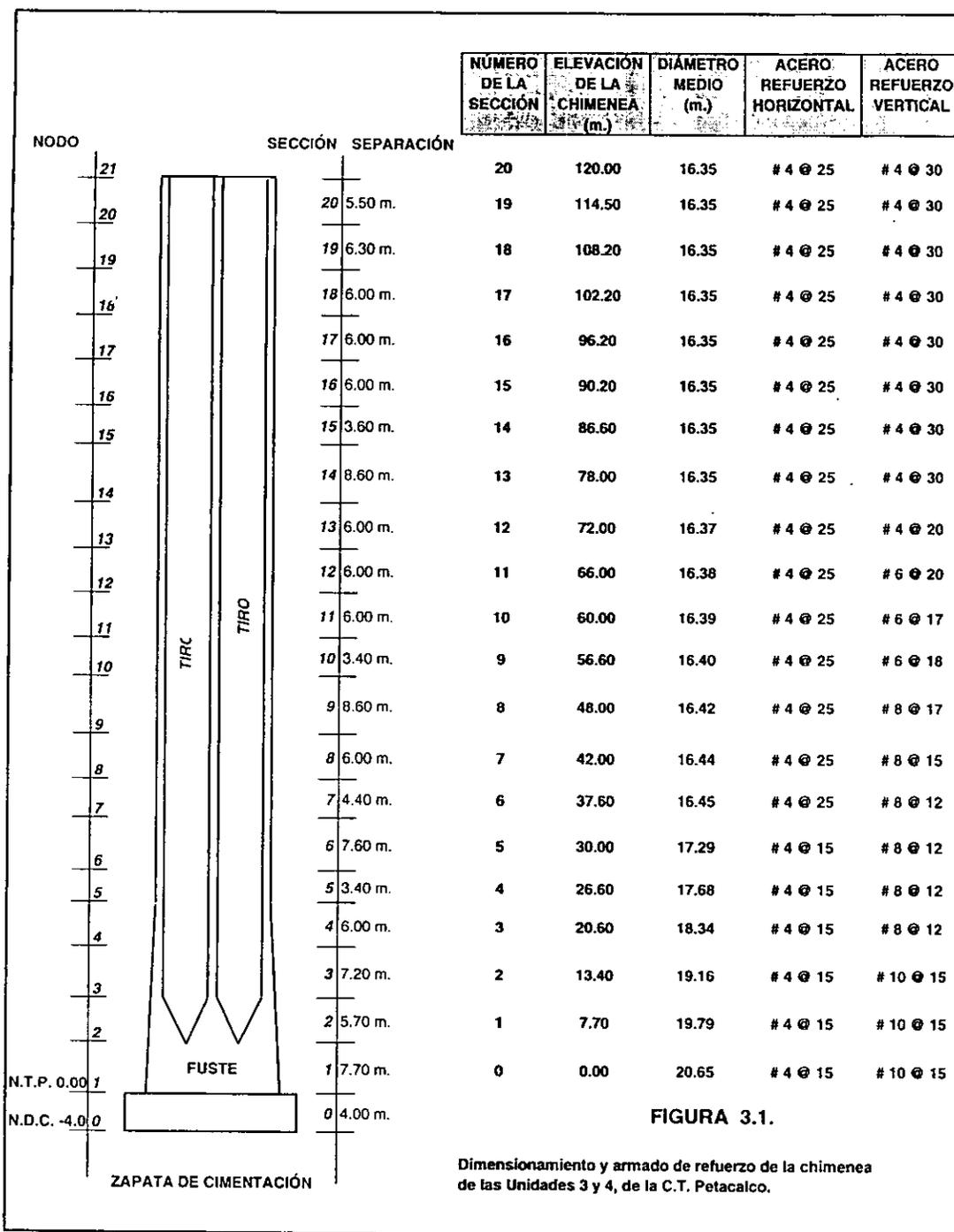
3. ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA CIMENTACIÓN, FUSTE Y TIROS.

Área (cm ²)	32.26	37.93	28.38	32.13	26.71
Inercia (cm ⁴)	2348.00	2880.00	2864.00	3405.00	3671.00
Módulo sección x	231.00	279.00	226.00	265.00	243.00
Esfuerzo admisible	1520.00	1520.00	1520.00	1520.00	1520.00
Momento máximo (ton-m)	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50
Factor intermedio	0.98	0.81	1.01	0.86	0.94
Flecha (cm.)	3.15	2.57	2.58	2.17	2.02

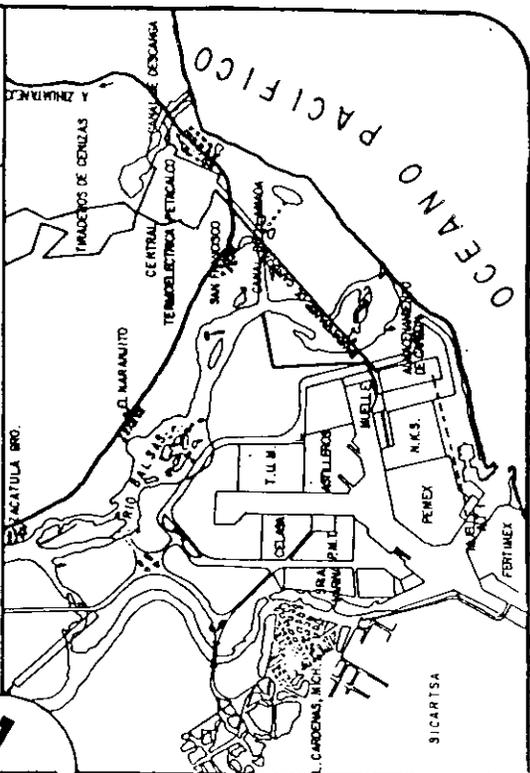
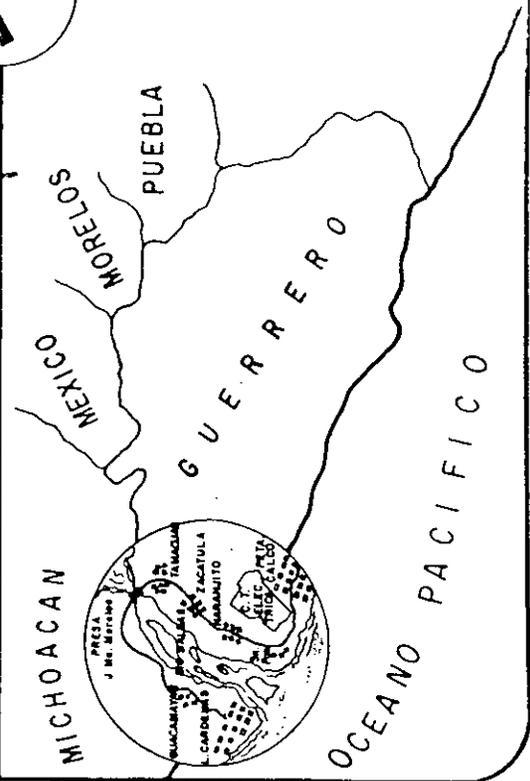
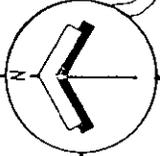
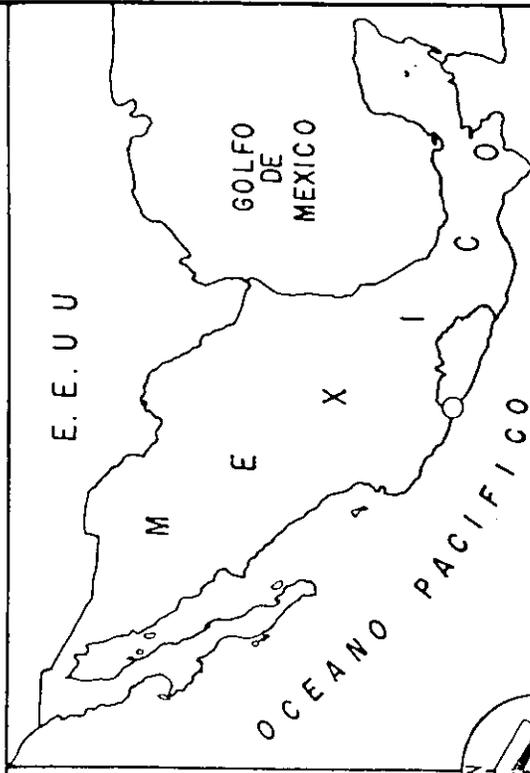
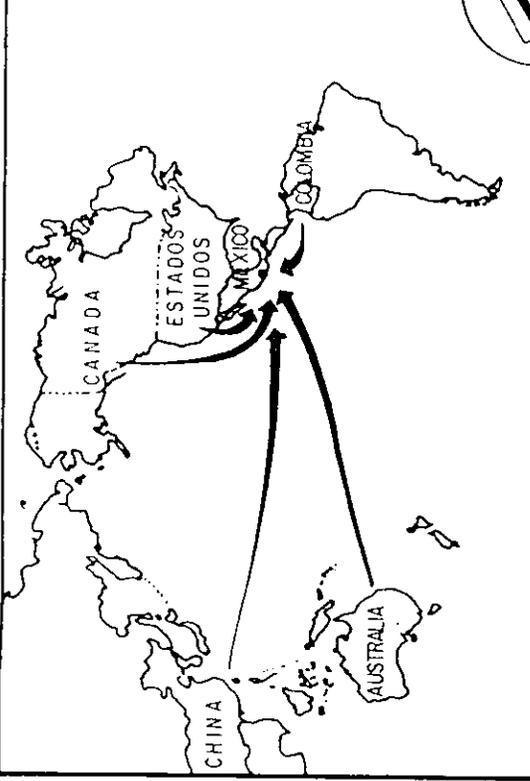
Reacción en el apoyo izquierdo; 2.03 ton.

Reacción en el apoyo derecho; 2.03 ton.

3. ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA CIMENTACIÓN, FUSTE Y TIROS.



LOCALIZACION GENERAL C.T. PETACALCO



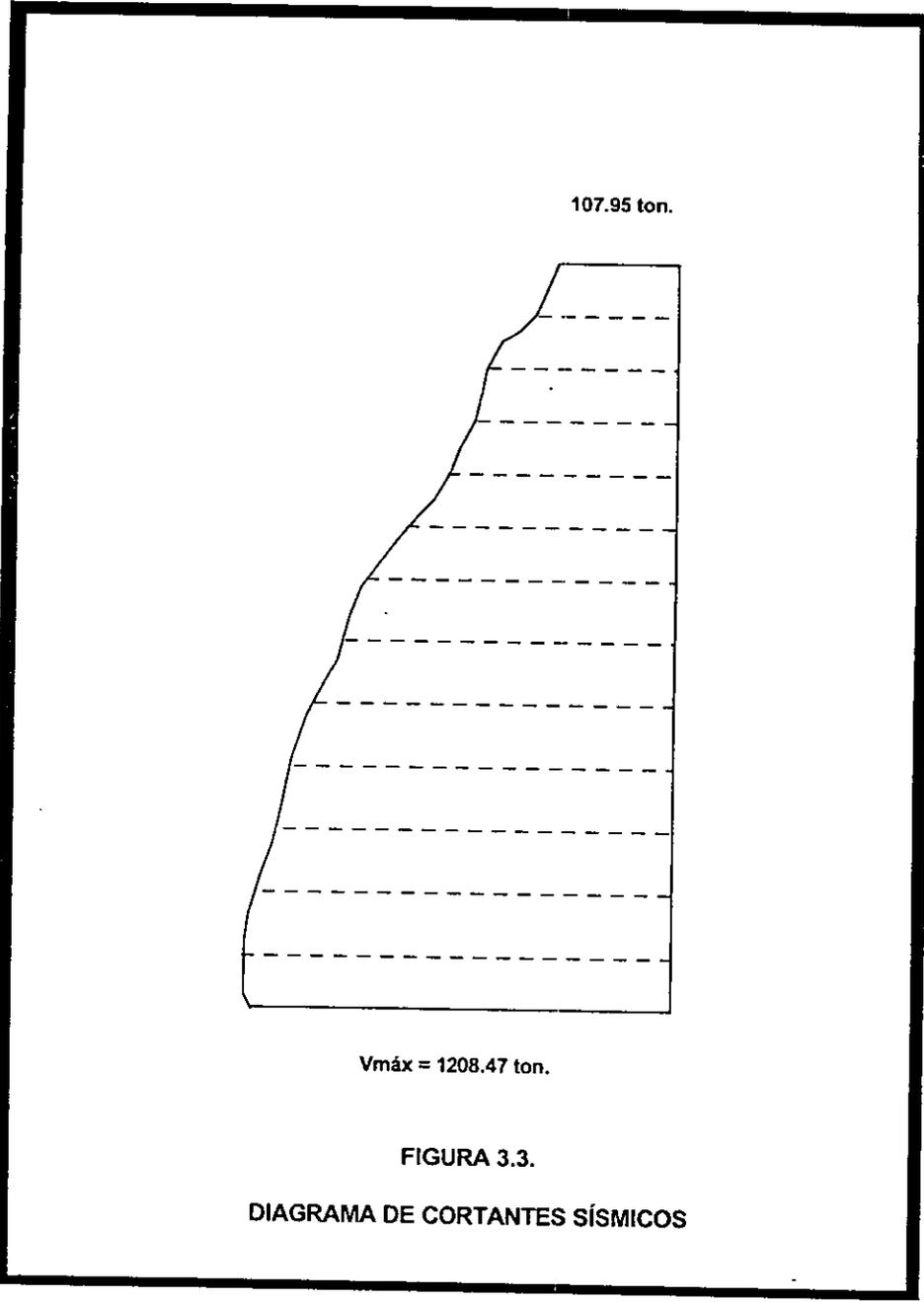


FIGURA 3.3.

DIAGRAMA DE CORTANTES SÍSMICOS

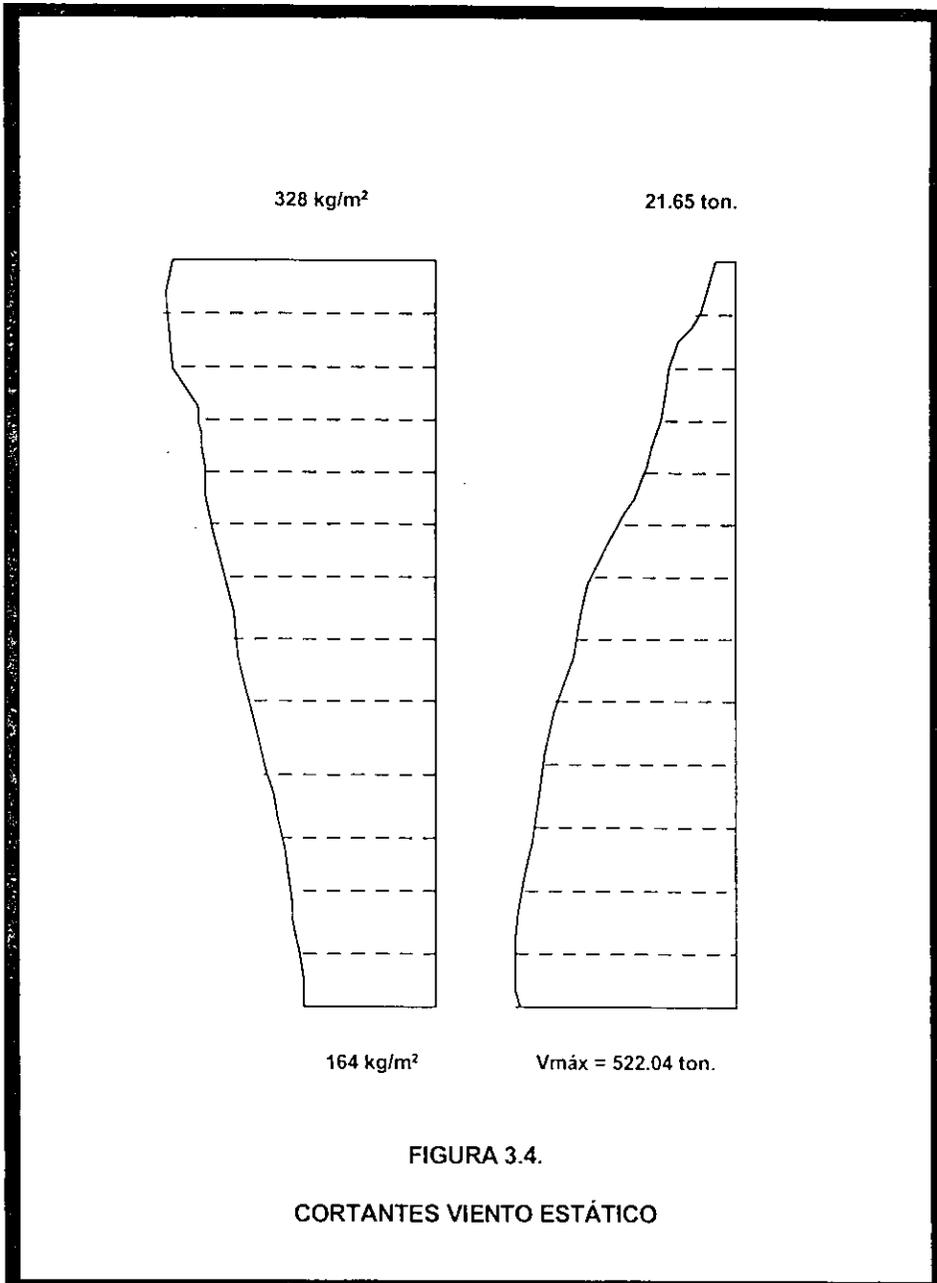
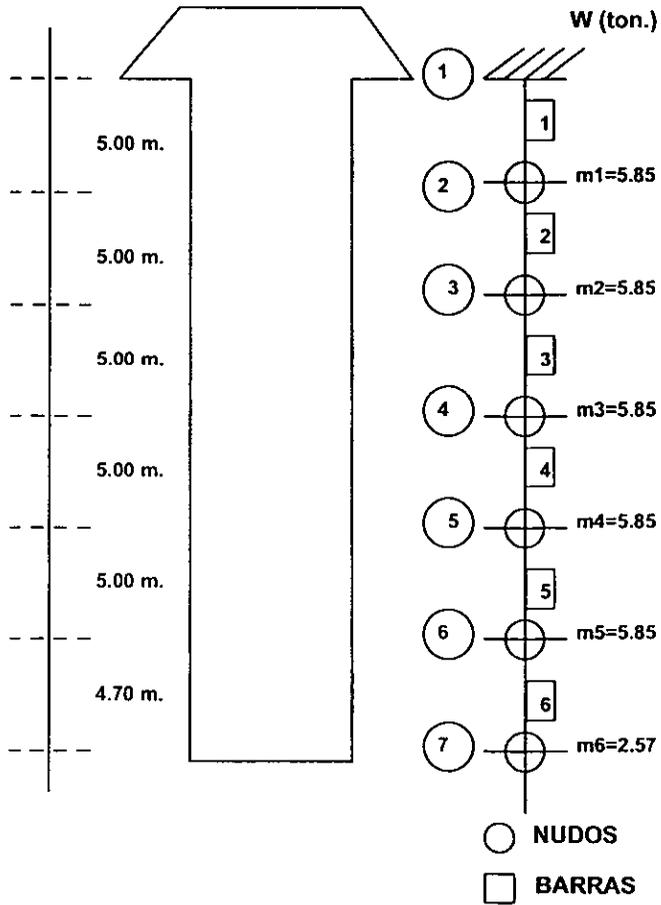


FIGURA 3.5.
TIRO DE ACERO



BIBLIOGRAFÍA

Diseño estructural. Meli Piralla, Roberto.
1985. Edit. Limusa. México.

Manual de construcción en acero.
Instituto Mexicano de la Construcción en Acero, A.C.
Tomos I y II. 1987. Edit. Limusa. México.

Estructuras, análisis y diseño.
Estructuras de acero. Método LRFD.
Tomos I y II. McCormac, Jack.
1989. Edit. Harper & Row. Estados Unidos.
1991. Edit. Alfaomega. México.

Manual de diseño de obras civiles.
C.2.7. Chimeneas. Instituto de Investigaciones Eléctricas. 1981.
Comisión Federal de Electricidad. México.

Análisis estructural.
McCormac, Jack C.
1975. Edit. Harper & Row. E.U.A.
1983. Edit. Harla. México.

Columnas de concreto reforzado.
Diseño a flexocompresión.
Meli Piralla, Roberto. 1968.
Instituto de Ingeniería, U.N.A.M. México.

Diseño estructural con normas de ACI.
Rice, Paul F. y Hoffman, Edward S.
1984. Edit. Limusa. México.

Manual de diseño de estructuras de concreto conforme al Reglamento ACI-318.
1990. Portland Cement Association. Estados Unidos.
1995. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. México.

Manual de diseño de concreto reforzado a la flexión.

Echeagaray y Ladrón de Guevara, Miguel M.

1984. Edit. C.E.C.S.A. México.

Mecánica de suelos, tomos I, II y III.

Juárez Badillo, Eulalio.

1974. Edit. Limusa. México.

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA CHIMENEA

4.1. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO PARA EL FUSTE DE LA CHIMENEA DE LAS UNIDADES 3 Y 4.

4.1.1. OBJETIVO.

El objetivo de este procedimiento es establecer el proceso de ejecución de las actividades relativas a la construcción del fuste de concreto de la chimenea.

4.1.2. ALCANCE.

Cubre todas las actividades correspondientes al deslizado del fuste de la chimenea, (materiales, cimbra, fabricación y colocación de concreto).

4.1.3. DEFINICIONES.

Fuste: Estructura de concreto armado en forma cilíndrica, que alojará los tiros que desalojan los gases de combustión.

4.1.4. REFERENCIAS.

- I. *ACI. Reglamento 318-83, 304, 305, 306 y 211.1*
- II. *Comisión Federal de Electricidad. PT-C-06. Procedimiento de fabricación y transporte de concreto con planta de respaldo.*
- III. *Comisión Federal de Electricidad. PT-C-12. Procedimiento de fabricación y transporte de concreto con mezclador central.*
- IV. *Comisión Federal de Electricidad. PT-C-09. Pre-colocación, colocación, post-colocación y reparación de concreto.*

4.1.5. RESPONSABILIDADES.

- I. El superintendente general de construcción o la persona que él designe es responsable de la implementación del presente procedimiento y de que el personal a su cargo realice las actividades consideradas en el mismo para conseguir la calidad requerida.
- II. El superintendente de control de calidad es responsable de que las actividades realizadas cumplan con los requisitos técnicos especificados.

4.1.6. REQUISITOS PREVIOS.

Antes de iniciar el colado del fuste de la chimenea, deberá contarse en obra con los materiales y equipo requeridos para el deslizado total.

4.1.7. PROCEDIMIENTO.

- 4.1.7.1. La junta de construcción se preparará de acuerdo al *Procedimiento de C.F.E., PT-C-09 última revisión.*
- 4.1.7.2. El acero de refuerzo se instalará conforme a lo indicado al *Procedimiento de C.F.E., PT-C-09 última revisión* y a los planos de diseño.
- 4.1.7.3. El concreto premezclado será fabricado en el interior de la planta termoeléctrica, por medio de una planta de concreto con una capacidad de producción de 25 m³/hr. Se contará con alumbrado suficiente en las áreas de acceso y de la planta de concreto. Adicionalmente se contará con una planta dosificadora de respaldo de capacidad de 25 m³/hr.
- 4.1.7.4. En la fabricación del concreto se incluirán 2 tipos de aditivos; un agente inclusor de aire de 3 a 6% medido en el momento de la colocación y un reductor de agua o retardador de fraguado.
- 4.1.7.5. La transportación del concreto desde la planta al sitio de colado se realizará por medio de 2 ollas revoledoras sobre camión.
- 4.1.7.6. El deslizado comprende del nivel -1.00 m. al nivel +120.00 m. Exteriormente tiene una sección tronco-cónica con un diámetro de 21.30 m. El espesor del muro es de 65 cm. en el nivel -1.00 m. y va disminuyendo hasta quedar de 35 cm. en el nivel +120.00 m. El izaje del acero de refuerzo será por medio de una pluma accionada con un malacate de 3 ton. de capacidad. El concreto será elevado con equipo de levante tipo concrete-hoist accionado con malacates de 3 ton. de capacidad (ver anexo), mediante recipientes de 0.20 m³ de capacidad, diseñados especialmente para esta actividad. Los

recipientes elevan el concreto hasta el nivel de la plataforma y lo depositan en receptores, y estos a su vez en carretillas, para depositarlo finalmente en el molde de la cimbra.

- 4.1.7.7. Para el vibrado del concreto se tendrán 6 vibradores eléctricos, los cuales estarán uniformemente distribuidos para cubrir las necesidades en el colado. Adicionalmente se contará con 2 de gasolina y 2 eléctricos.
- 4.1.7.8. En el proceso de construcción del fuste de concreto de la chimenea, se requiere por las características geométricas de esta, la utilización del sistema de cimbra deslizante, accionado mediante gatos hidráulicos que elevan paulatinamente el molde de cimbra con impulsos hasta de 5 minutos de intervalo alcanzando en cada uno de ellos 1" (25 mm.) de carrera. Para iniciar el deslizado se requiere tener como mínimo el molde con el 75% de su volumen de concreto, llenado en capas uniformes. La velocidad de izaje será, en promedio, de 20 cm/hr. Por lo tanto, se estima una duración total del colado del fuste de 25 días efectivos, Sin embargo, durante la ejecución de los trabajos, se podrá mejorar el rendimiento. Los elementos que forman la cimbra deslizante son los indicados en el anexo correspondiente.
- 4.1.7.9. En caso de presentarse una junta fría durante el colado, esta se preparará de acuerdo al **Procedimiento PT-C-09**; y al reiniciar el colado se aplicará una capa de 2.5 cm. (1") de espesor de mortero, de la misma proporción del concreto de diseño, para que sirva de liga entre el concreto endurecido y el concreto fresco.
- 4.1.7.10. El acabado aparente que dejará el molde de cimbra será el definitivo; cuando se requiera detallar algún defecto, se realizará inmediatamente con esponja para lograr uniformidad en la apariencia de la superficie. En el caso de un detalle mayor, se realizará la reparación con mortero o concreto fabricado del mismo concreto, para obtener así los resultados óptimos de calidad.
- 4.1.7.11. El curado posterior al acabado, se aplicará con rodillos manuales, u otro artefacto que permita la aplicación del curacreto, solución acuosa.

4.1.8. CONTROL DE VERTICALIDAD.

- 4.1.8.1. Para controlar el desarrollo vertical del fuste, se llevará un registro de 4 plomadas por el lado interior, las cuales colgarán de la estructura de la cimbra deslizante y tendrán como referencia cada una, círculos concéntricos en el N - 1.00 m. que servirán para obtener el comportamiento del molde en cuanto a giros y desplomes (se incluye el anexo respectivo).

- 4.1.8.2. Por el lado exterior, con tránsito topográfico aproximado a 100 m. de distancia del muro del fuste, se tendrá una referencia tanto en el concreto como en la cimbra deslizante para registrar los posibles desplazamientos y en base a esto, efectuar el control del sistema; este registro se hará periódicamente y se llevará tanto en la cara sur como en la cara este del fuste (ver el anexo correspondiente).
- 4.1.8.3. El desplazamiento de la chimenea con respecto a la vertical, no debe exceder de 2.5 cm. en 15 m. y el desplazamiento total desde la cimentación no debe exceder de $0.002 h$, siendo h la altura total de la chimenea.
- 4.1.8.4. Las variaciones de espesor de la pared no deberán exceder de ± 1.27 cm. para paredes de espesor mayores de 20 cm.
- 4.1.8.5. Para controlar los niveles, se llevarán marcas en las barras de apoyo de los gatos desde el inicio, a cada metro de altura y periódicamente se verificará con cinta métrica.

4.1.9. ALUMBRADO GENERAL.

- 4.1.9.1. Se colocarán focos de 150 watts en todo el perímetro del fuste a una altura de 2.00 m. de altura del nivel de plataforma por cada gato colocado, y se hará lo mismo, tanto para el andador exterior como para el interior para instalar los acabados. También se colocarán 8 lámparas de 500 watts en el centro de la plataforma de trabajo a una altura de 4.00 m. aproximadamente.
- 4.1.9.2. Para las escaleras se colocarán focos de 150 watts en toda la altura de la estructura.
- 4.1.9.3. Se contará con lámparas de 1500 watts para la iluminación del área de la chimenea a nivel de piso.
- 4.1.9.4. Los malacates contarán con iluminación suficiente a base de focos de 150 watts (se anexa esquema de alumbrado).

4.1.10. SEGURIDAD.

- 4.1.10.1. Se contará con 2 torres para escaleras acceso para subir y bajar.
- 4.1.10.2. Todo el personal que labore en la chimenea contará con su casco de protección.
- 4.1.10.3. Al personal que dará el acabado por el lado exterior e interior, contará con barandales de varilla como protección.

4.1.10.4. Se contará con anuncios de seguridad en las zonas que así lo requieran, tanto en el interior como en el exterior.

4.2. OBSERVACIONES PARA EL COLADO DEL FUSTE.

Se establece que de mutuo acuerdo, se deberá presentar un informe por escrito, el cual deberá contener:

4.2.1. Cantidad de personal obrero para el inicio de la colocación del concreto, el cual se podrá ir ajustando, ya sea incrementándolo o disminuyéndolo, dependiendo de los rendimientos obtenidos.

4.2.2. Se utilizarán de 6 a 9 carretillas para el vaciado de concreto.

4.2.3. Se tendrá preparada la infraestructura para la protección contra la lluvia (lonas y soportes para las lonas).

4.2.4. Se tomó la decisión por construcción en base a los resultados de pruebas de laboratorio, en cuanto al tiempo de fraguado del concreto, utilizar el aditivo pozzolith 322R.

4.2.5. Se recomienda continuar haciendo pruebas de laboratorio del fraguado inicial del concreto, a diferentes horas y diferentes temperaturas ambientales, para poder tomar la decisión de en qué momento se puede hacer incremento o disminución de aditivo o hielo.

4.2.6. Se recomienda llevar registros de temperaturas, revenimiento y tiempo de fraguado del concreto cada hora, además de llevar un registro de la temperatura ambiente. Se recomienda también hacer la protección de los agregados contra la humedad y el sol.

4.3. ÍNDICE DEL PROCEDIMIENTO A SEGUIR DURANTE LA CONSTRUCCIÓN.

4.3.1. Materiales.

4.3.2. Armado.

4.3.3. Cimbra y equipo para deslizado.

4.3.4. Equipo para deslizado, respaldo y lista de refacciones para planta de concreto.

4.3.5. Fabricación de concreto.

- 4.3.6. Transporte de concreto al sitio de colado.
- 4.3.7. Colocación y compactación del concreto.
- 4.3.8. Pruebas al concreto.
- 4.3.9. Control del tiempo de fraguado, para diferentes temperaturas.
- 4.3.10. Control de izaje y velocidad de alzado.
- 4.3.11. Tratamiento de junta fría.
- 4.3.12. Reparaciones, acabado y curado.
- 4.3.13. Protección del concreto contra lluvia.
- 4.3.14. Alumbrado general.
- 4.3.15. Seguridad.
- 4.3.16. Control de verticalidad.
- 4.3.17. Anexos.

4.3.1. MATERIALES.

En el sitio de la obra, se deberá contar con los materiales que se van a utilizar durante el proceso de construcción. Los materiales se deberán clasificar por lotes. Además, se tiene que llevar una relación de la cantidad de material que se requiere, así como sus características generales de acuerdo al empleo que se le vaya a asignar.

4.3.1.1. Cemento. El cemento que se va a utilizar para la fabricación del concreto, será clase portland del tipo II, de acuerdo con la norma **ASTM C 150-86, Standard specification for portland cement**. El cemento portland es un cemento hidráulico producto de la pulverización de clinker, el cual consiste esencialmente de silicatos de calcio hidráulicos. Este cemento no deberá contener otro tipo de agregados, a excepción de los siguientes:

- I. **Agua o sulfato de calcio o ambos.** pueden ser incluidos en las cantidades que establece la Tabla 1 para trióxidos de azufre. Si en la elaboración del cemento el fabricante utiliza procesos adicionales que conlleven la adición de otros materiales, estos deberán de apegarse a las cantidades y normas que establezca la **Especificación ASTM C 645**. Las pruebas a las que deberá ser sometido el cemento, serán las siguientes:
- II. **Composición química.** Las características químicas del cemento, deberán de ajustarse a las normas de las Tablas 1 y 2.
- III. **Métodos de prueba.** Las propiedades que debe mostrar el cemento, serán las que se enumeran a continuación:
 - a) Contenido de aire del mortero. **ASTM C 185**.

- b) Análisis químico. **ASTM C 114.**
- c) Resistencia. **ASTM C 109.**
- d) Prueba falsa. **ASTM C 451.**
- e) Finura por permeabilidad del aire. **ASTM C 204.**
- f) Finura por espesómetro. **ASTM C 115.**
- g) Calor de hidratación. **ASTM C 186.**
- h) Expansión de autoclave. **ASTM C 151.**
- i) Tiempo de estabilización por las agujas Gillmore. **ASTM C 266.**
- j) Tiempo de estabilización por las agujas Vicat. **ASTM C 191.**
- k) Resistencia a los sulfatos. **ASTM C 452.**
- l) Expansión de sulfatos de calcio en el mortero. **ASTM C 1038.**
- m) Trióxido de azufre óptimo (SO₃). **ASTM C 563.**

La inspección del material se hará de común acuerdo entre el fabricante y el comprador y se rechazará en caso de no cumplir con los requerimientos establecidos previamente entre ambas partes. El cemento restante almacenado en bultos en la fábrica 6 meses previos a su envío, o cementos empacados en bultos por más de 3 meses, serán sometidos a pruebas nuevamente, de acuerdo con la presente especificación. Los costales deberán señalar tanto su peso bruto así como su peso neto, teniendo el comprador la facultad de rechazar aquellos costales que contengan un 2% menos de su peso especificado en el empaque. En caso de tratarse de un embarque muy grande, se procederá a elegirse 50 costales al azar, y si estos presentan un contenido inferior al indicado por el fabricante, el comprador podrá devolver el lote completo. Conociendo la dosificación del concreto $f_c = 250$ kg/cm², la cantidad de cemento que se va a emplear para la construcción de la chimenea, será de 917.68 toneladas, ya que el volumen de esta será de 2885.78 m³ de concreto.

4.3.1.2. Tipos de agregados. Existe una serie de requerimientos que deben cumplir los agregados tanto finos como gruesos que se van a emplear, tanto para concretos ligeros como pesados; los cuales se deberán de apegar a la norma **ASTM C 33-90, Standard specification for concrete aggregates.** Dicha norma la deberá verificar tanto el contratista, como el diseñador, el ingeniero

residente, etc., ya que señala la calidad y tamaño del agregado que se va a emplear en el concreto de la estructura.

- i. **Características generales del agregado fino.** El agregado fino consistirá de arena natural, arena fabricada o una combinación de ambas. Su graduación se medirá de acuerdo con la siguiente tabla:

TABLA 4.3- 1

Límites para sustancias que deterioran a los agregados finos para concreto (TABLA 1, tomada de la Especificación ASTM C 33-90)

		<i>Porcentaje máximo en peso de la muestra total</i>
	Masas y partículas de barro	3.0
Material más fino que la malla No. 200	Concreto sujeto a la abrasión	3.0 (*)
	Todos los otros concretos	(*)
Carbón y lignita	Lugares en donde no importe la apariencia de la superficie del concreto	0.5
	Para todos los demás concretos	1.0

- (*) *En el caso de arena fabricada, si el material que es más fino que la malla No. 200 consiste en polvo de fractura, esencialmente libre de lodo o limo, estos límites pueden ser incrementados en un 5 y 7% respectivamente.*

El mínimo porcentaje de material que pasa la malla No. 50 y la malla No. 100, puede ser reducido a 5 y 0, respectivamente, si el concreto que se va a fabricar lleva inclusión de aire y contiene más de 400 libras de cemento por yarda cúbica (237 kg/m³) o si no lleva entrada de aire y contiene más de 500 libras de cemento por yarda cúbica (297 kg/m³). Para envíos frecuentes desde una misma fuente, el módulo de finura no deberá variar de 0.20 del módulo de finura tomado como base; este se establecerá de acuerdo con estudios previos, o de lo contrario del promedio de 10 muestras. El proporcionamiento de la mezcla de un concreto dependerá del

módulo de finura de su agregado fino, por lo tanto, si el módulo de finura tomado como base es muy variable, es recomendable hacer un ajuste en el proporcionamiento de la mezcla. Se tendrán que evitar las impurezas dentro del agregado fino, como pudieran ser el carbón o la lignita, ya que estos reducirían considerablemente la resistencia de la mezcla. Tales impurezas pueden observarse a simple vista, ya que estas le dan un color más oscuro a la mezcla. En caso de que los agregados presentaran ciertas impurezas a causa de materias orgánicas, su resistencia a los 7 días de acuerdo con la **Especificación ASTM C 87**, no podrá ser inferior al 95% de la resistencia de diseño.

II. Características generales de los agregados gruesos. Los agregados gruesos son aquellos que provienen de la obtención de grava, grava triturada, roca triturada en altos hornos enfriados por aire, cemento hidráulico triturado para concreto o de una combinación de todos ellos según los requerimientos de la presente especificación. Aunque el cemento hidráulico triturado para concreto ha sido empleado como agregado ofreciendo excelentes resultados, su uso puede requerir de ciertas precauciones adicionales, ya que se podría necesitar de una mayor cantidad de agua debido a la aspereza del agregado. Otros tipos de agregados, como el concreto parcialmente deteriorado, pueden afectar la resistencia al congelamiento y al deshielo, afectar sus propiedades por los huecos de aire ocasionados durante el transporte, mezclado o colocación. Las cantidades de agregados que se van a utilizar durante el colado del fuste (grava y arena), se mencionan en la sección **4.3.5. Fabricación de concreto.**

4.3.2. ARMADO.

4.3.2.1. Acero de refuerzo. Las varillas de refuerzo que vayan a soldarse deben estar señaladas en los planos, debiendo especificar los procedimientos de soldadura que se van a emplear. Las especificaciones **ASTM** para varillas de refuerzo, excepto la **ASTM A 706**, deben complementarse para requerir un informe de las propiedades del material, necesarias para cumplir con los procedimientos de soldadura especificados en **Structural welding code, reinforcing steel, (AWS D 1.4)** de la **American Welding Society**.

- I. Refuerzo corrugado.** Las varillas corrugadas de refuerzo deben cumplir con una de las siguientes especificaciones:
- a) Specification for deformed and plain billet steel bars for concrete reinforcement (ASTM A 615).**

- b) *Specification for rail steel deformed and plain bars for concrete reinforcement including supplementary requirements S1 (ASTM A 616 including S1).*
- c) *Specification for axle-steel deformed and plain steel bars for concrete reinforcement (ASTM A 616).*
- d) *Specification for low-alloy steel deformed bars for concrete reinforcement (ASTM A 706).*

Pueden emplearse varillas corrugadas de refuerzo con una resistencia a la fluencia especificada f_y que exceda 4200 kg/cm^2 , siempre que f_y sea el esfuerzo correspondiente a una deformación de 0.35% y las varillas cumplan con una de las especificaciones *ASTM* enumeradas anteriormente. Las mallas de varillas para refuerzo del concreto deben ajustarse a la *Specification for fabricated deformed steel bar mats for concrete reinforcement (ASTM A 184)*. Las varillas de refuerzo, utilizadas en las mallas de varillas, deben cumplir con una de las especificaciones mencionadas en la sección anterior. El alambre corrugado para refuerzo del concreto deberá cumplir con la *Specification for steel wire, deformed, for concrete reinforcement (ASTM A 496)*, excepto que el alambre no debe ser menor que el tamaño D4, y para el alambre con una resistencia a la fluencia especificada f_y mayor de 4200 kg/cm^2 , f_y será el esfuerzo correspondiente a una deformación de 0.35% si la resistencia a la fluencia especificada en el diseño es mayor de 4200 kg/cm^2 . El alambre liso soldado para refuerzo del concreto deberá cumplir con la *Specification for steel welded wire fabric, plain, for concrete reinforcement (ASTM A 185)*, excepto que para el alambre con una resistencia a la fluencia f_y que exceda 4200 kg/cm^2 , este será el esfuerzo para una deformación de 0.35% si el límite de fluencia es mayor de 4200 kg/cm^2 .

Las intersecciones soldadas no deben estar espaciadas más de 30 cm. en el sentido del esfuerzo calculado, excepto para mallas de alambre utilizadas como estribos. La tela de alambre corrugado soldado para refuerzo de concreto debe cumplir con la *Specification for welded deformed steel wire fabric for concrete reinforcement (ASTM A 497)*, excepto que para el alambre con un límite de fluencia especificado f_y que exceda 4200 kg/cm^2 , debe ser el esfuerzo correspondiente a una deformación de 0.35% si la resistencia a la fluencia especificada en el diseño excede 4200 kg/cm^2 . Las intersecciones soldadas no deben estar espaciadas a más de 40 cm. en el sentido del esfuerzo calculado, excepto para tela de alambre utilizada como estribos. Las varillas de refuerzo galvanizadas deben cumplir con *Specification for zinc-coated (galvanized) steel bars for concrete reinforcement (ASTM A 767)*. Las varillas de refuerzo con recubrimiento epóxico deben cumplir con *Specification for epoxy coated reinforcing steel bars (ASTM A 775)*. Las varillas de refuerzo con recubrimiento epóxico o galvanizadas deben cumplir con una de las especificaciones enlistadas en los párrafos previos.

- ii. **Refuerzo liso.** Las varillas lisas para refuerzo en espiral deben cumplir con las especificaciones de la sección de refuerzo corrugado, en sus 3 primeros incisos. El alambre liso para refuerzo en espiral debe cumplir con la **Specification for steel wire plain for concrete reinforcement (ASTM A 82)**, excepto que para alambre con una resistencia a la fluencia f_y especificada, superior a 4200 kg/cm^2 , f_y será el esfuerzo que corresponda a una deformación unitaria del 0.35%, si la resistencia a la fluencia especificada en el diseño excede de 4200 kg/cm^2 . En México se utilizan grados de acero diferentes a los que maneja la **ASTM** en cuanto a nomenclatura y unidades, por lo que aquí se presenta una tabla de equivalencias para acero, de acuerdo a las normas mexicanas y a las de la **ASTM**.

TABLA 4.3- 2

MÉXICO		ASTM	
Grado	$f_y \text{ (kg/mm}^2\text{)}$	Grado	$f_y \text{ (lb/pulg}^2\text{)}$
28	28	40	40000
35	35	50	50000
42	42	60	60000
52	52	75	75000

4.3.3. CIMBRA Y EQUIPO PARA DESLIZADO.

4.3.3.1. Diseño de cimbras. La cimbra debe dar como resultado una estructura que cumpla con la forma, los lineamientos y las dimensiones de los elementos, según lo señalado en los planos de diseño y en las especificaciones. Las cimbras deben ser sustancial y suficientemente impermeables para impedir la fuga del mortero. Las cimbras deben estar adecuadamente apuntaladas o ligadas, de tal manera que conserven su forma y posición. Las cimbras y sus apoyos deben diseñarse de tal manera que no se dañe la estructura previamente construida. El diseño de la cimbra tomará en cuenta los siguientes factores:

- Rapidez y método de colocación del concreto.
- Cargas de construcción, incluyendo carga vertical, horizontal y de impacto.
- Requisitos especiales de la cimbra, necesarios para la construcción de cascarones, placas plegadas, domos, concreto arquitectónico u otros tipos semejantes de elementos.

Las cimbras para elementos presforzados deben diseñarse y construirse de tal manera que permitan el movimiento del elemento sin causarle daños durante la aplicación de la fuerza de presfuerzo.

4.3.3.2. Descimbrado y retiro de puntales. Ninguna carga de construcción deberá apoyarse sobre ninguna parte de la estructura en construcción, ni se deberá retirar ningún puntal de dicha parte, excepto cuando la estructura junto con el sistema restante de cimbra y de puntales tenga suficiente resistencia como para soportar con seguridad su propio peso y las cargas colocadas sobre ella. Debe demostrarse mediante análisis estructural la existencia de suficiente resistencia, considerando las cargas propuestas, la resistencia del sistema de cimbras y puntales, así como los datos de resistencia del concreto. Los datos de resistencia del concreto deben estar basados en pruebas de cilindros curados en el campo o, cuando lo apruebe el director responsable de obra en otros procedimientos para evaluar la resistencia del concreto. Los datos del análisis estructural y de las pruebas de resistencias del concreto deben proporcionarse al director responsable de obra cuando así lo requiera.

Ninguna carga de construcción que exceda la combinación de la carga muerta impuesta más la carga viva especificada, podrá apoyarse en una zona de la estructura en construcción sin apuntalamiento, a no ser que un análisis determine que presenta la resistencia suficiente para soportar tales cargas adicionales. El descimbrado deberá hacerse de tal manera que no perjudique la seguridad y las condiciones de servicio de la estructura. Al descimbrar elementos de concreto, este deberá contar con la resistencia suficiente para no sufrir daños subsecuentes. Los apoyos de la cimbra para elementos presforzados de concreto, se pueden retirar solo cuando se haya aplicado un presfuerzo suficiente para que tales elementos sean capaces de resistir su peso propio y las cargas previstas por los análisis.

4.3.3.3. Relación de los elementos de la cimbra deslizante.

- | | |
|----------------------------------|------------------------------|
| 1. Andador. | 9. Yugo. |
| 2. Piernas. | 10. Gato. |
| 3. Andamio de acabado exterior. | 11. Barra de apoyo del gato. |
| 4. Acero de refuerzo. | 12. Plataforma de trabajo. |
| 5. Muro de concreto ambas caras. | 13. Estructura de rigidez. |
| 6. Andamio de acabado interior. | 14. Lámpara de 500 watts. |
| 7. Cimbra exterior. | 15. Focos de 150 watts. |
| 8. Cimbra interior. | |

4.3.4. EQUIPO PARA DESLIZADO, RESPALDO Y LISTA DE REFACCIONES PARA PLANTA DE CONCRETO.

TABLA 4.3- 3

EQUIPO PRINCIPAL	CANTIDAD
Malacates de 3 ton.	4
Elevadores de concreto	3
Pluma para elevación de materiales	1
Planta de concreto	1
Camión revoladora	2
Vibrador eléctrico	8
Soldadora eléctrica	2
Camioneta de redilas	1
Equipo de oxi-corte	2
Tirford de 5 ton.	3
Bomba hidráulica para sistema deslizante	1
Gatos hidráulicos de 6 ton.	36
Barras de apoyo	1
Equipo de topografía	1

TABLA 4.3- 4

EQUIPO DE RESPALDO	CANTIDAD
Vibradores eléctricos de 2" y de 1 1/2"	4
Vibradores de gasolina 2"	2
Soldadora eléctrica	1
Bomba hidráulica para sistema deslizante	1
Gatos hidráulicos de 6 ton.	12
Barras de apoyo	80
Camión revoladora	1
Malacate de 3 ton.	1
Malacate de 2 ton.	1
Lavadora de presión o compresor	1

TABLA 4.3- 5

REFACCIONES PARA PLANTA DE CONCRETO	UNIDAD	CANTIDAD
MARCA ODISA		
Relevador de sobrecarga, marca Siemens No. 3VA54	Pieza	1
Contacto Siemens No. 3TB42	Pieza	1
Contacto Siemens No. 3TB44	Pieza	1

Fusible de cristal de 5 amp. a 250 volts	Pieza	5
Arrancador Cutler Hammer de 2 a 7.5 H.P.	Pieza	1
Válvula neumática 3/8" 3 polos No. 237 - 327B	Pieza	1
Válvula neumática 1/4" 2 polos No. 407 - 327B	Pieza	1
Válvula neumática 4 vías doble 3/8" 2 posiciones	Pieza	1
Celda de carga eléctrica 1000 libras	Pieza	2
Celda de carga eléctrica 500 libras	Pieza	1
Kit de repuesto para cilindro neumático 2 1/2" X 10"	Juego	2
Kit de repuesto para cilindro neumático 3 1/4" X 10"	Juego	2
Kit de repuesto para cilindro neumático 4" X 10"	Juego	2
Indicador digital Apmi	Pieza	1
Cargador triples para banda 24"	Pieza	5
Rodillo de retorno para banda 24"	Pieza	5

4.3.5. FABRICACIÓN DE CONCRETO.

El concreto será fabricado en el interior de la Central Termoeléctrica Presidente Plutarco Elías Calles, por medio de una planta de concreto marca "Odisa", con capacidad de producción de 25 m³/hr; se tendrá una capacidad de almacenamiento de cemento a granel tipo II; marca Veracruz de 280 ton. y como se indica en los **Procedimientos PT-C-06, 09 y 12 última revisión**, se contará con el alumbrado suficiente en las áreas de acceso en silos de cemento y arena e almacenamiento de agregados en la planta de concreto. Adicionalmente se contará con una planta marca "Ross" con capacidad de producción de 25 m³/hr, y almacenamiento de cemento de 190 ton., para cualquier emergencia o falla de la planta. Se anexan los diseños de la mezcla del concreto a utilizar. También se contará con una planta Elba de C.F.E. como apoyo, y en caso de fallar ambas, se contará con 30 ton. de cemento Veracruz tipo II, en sacos y con preparación para cargar directamente los materiales a las ollas revoledoras sobre camión, convirtiéndolas así en mezcladoras.

4.3.5.1. Producción. Se debe poner en operación la planta y preparar la primera carga. Después se procede a dar entrada a la revolvedora que iniciará el suministro y ordenarle que opere el tambor a la velocidad de mezclado y proceder a la carga. El concreto empleado, será el de la tabla de proporcionamiento corregido por humedad y granulometría, con un porcentaje de aditivo de 0.8% y un revenimiento de 8 cm., ya que este concreto tiene una relación agua-cemento de 0.53, por lo que cumple con la relación máxima de diseño especificada. Las condiciones que deberá satisfacer el concreto, serán las siguientes:

- I. Resistencia de diseño: 250 kg/cm²
- II. Tamaño máximo de agregado: 40 mm.
- III. Edad de diseño: 28 días.

La dosificación para elaborar un m³ de concreto, es la que se presenta a continuación:

TABLA 4.3- 6

Cemento	Grava		Arena		Agua	Aditivo	
	ton.	40 mm.	20 mm.	Gruesa	Fina	m ³	Litros
0.318	0.468	1.170	1.846	2.012	0.167	2.547	0.8

La cantidad necesaria de cada material que se empleará para la construcción, se resume en la siguiente tabla, (considerando el volumen que se va a colar, 2885.78 m³):

TABLA 4.3- 7

Cemento	Grava		Arena		Agua	Aditivo	
	ton.	40 mm.	20 mm.	Gruesa	Fina	m ³	Litros
917.68	1350.54	3376.36	5327.15	5806.19	481.92	7350.08	0.8

4.3.5.2. Temperaturas de colado. Para controlar las temperaturas de colado según se requiera, se procederá de la siguiente manera:

- I. Mojar los agregados a utilizar, para reducirles la temperatura; además de mantenerlos húmedos antes y durante el colado.
- II. En caso de agregar hielo al concreto, definir la cantidad de hielo a utilizar por m³, ordenar su producción y almacenaje y agregarlo al concreto como sigue: pesarlo antes de triturarlo y soplarlo directamente a la boca de la olla, reduciendo el volumen de agua dosificada a la diferencia entre el peso del hielo y los litros de agua necesarios para el revenimiento de diseño.
- III. Medir la temperatura del concreto directamente en el trompo de la olla o llenando la carretilla de muestreo, introduciendo el vástago del termómetro en la mezcla, para verificar que cuando el concreto se vaya a colocar, las temperaturas no sean mayores de 23 °C para colados masivos, 27 °C para colados semimasivos y 31 °C para colados normales.
- IV. En cuanto se terminen de cargar los ingredientes en la olla, iniciar el tiempo de mezcla de la carga total, que debe durar de 70 a 100 revoluciones a una velocidad de 10 a 12 revoluciones por minuto o mezclar el concreto de

acuerdo al tiempo que se registró en la prueba de uniformidad, después de lo cual el operador pondrá el tambor a velocidad de agitación para que se verifique la apariencia del concreto.

- V. Se hará una determinación de revenimiento inicial cuando sea requerido para verificar si no se requieren ajustes mayores y si la apariencia del concreto es la deseada. Si se obtuvieron las condiciones esperadas, se elaborará la remisión y se enviará a entrega, continuando el suministro a los intervalos indicados en el pedido.
- VI. Al llegar al sitio de descarga, el operador presentará la remisión del volumen de concreto y solicitará la orden de descarga. Si se le indica al operador a través del laboratorio que deberá ser muestreada la unidad para la determinación del revenimiento y toma de cilindros, descargará el volumen necesario para las muestras. Si cumple dentro de los límites establecidos procederá a la descarga, recabando la firma de recibido.
- VII. Si la mezcla no cumple y el revenimiento es mayor o menor que lo especificado, se regresará la unidad a la planta de concreto para su corrección y reemplado, sin exceder de 30 minutos; esto se asentará en la boleta de remisión y se retemplará de acuerdo con estas especificaciones.
- VIII. Si el revenimiento es mayor, se regresa a la planta de concreto la unidad revolvedora con el dato del revenimiento obtenido para ser reemplada hasta obtener el revenimiento deseado y se procede a cargar la unidad revolvedora, antes de ser enviada de nueva cuenta a la obra. Debe vigilarse que se regrese con el revenimiento deseado.
- IX. Si el revenimiento es menor al deseado, con el dato de la prueba obtenida, se agrega agua a la olla a razón de 4 litros de agua por cm. de revenimiento que se requiera elevar, por cada m^3 de concreto, agregando cemento en proporción al agua agregada manteniendo la relación agua cemento.
- X. El camión mezclador regresará a la planta, efectuará el lavado del tambor en una frecuencia de cada 3 viajes o antes según se requiera, descargando completamente el agua empleada y se reporta para continuar la secuencia de carga. Si se presenta algún imprevisto que afecte la continuidad del colado, se notificará en el frente de colado para que se tomen las medidas para prevenir los efectos que pueden causar un retraso (como ocasionar una junta fría). Si durante el colado cambian las condiciones de humedad de los agregados, se efectuarán las correcciones necesarias sin interrumpir la fabricación y colocación del concreto.

4.3.5.3. Posterior al colado. Se elaboran los reportes de materiales consumidos, los materiales que quedaron en almacén y los materiales para realizar las

muestras. Se recibe reporte de condiciones de operación de la planta dosificadora, revolvedoras y cargador frontal, ordenando las reparaciones o demás trabajos de mantenimiento que se requieran.

4.3.5.4. Descripción sintética del proceso de dosificación con un sistema de bacheo en seco. Esta planta está diseñada para dosificar los materiales para la elaboración de concreto que se mezclan en camión mezclador. Su forma de operar se conoce como bacheo en seco. La medida de las bachadas es efectuada por un operador de planta y se cargan en los camiones revolvedora para su mezclado; siendo responsabilidad del pesador dosificar las cantidades indicadas para cada bacha y la responsabilidad de mezclado del operador de la revolvedora, supervisado por el pesador, para verificar que la mezcla salga a la obra en condiciones adecuadas. Fundamentalmente el pesador carga las básculas con los materiales para el concreto registrando las referencias con los pesos proyectados para conocer si los pesos son cercanos a los requeridos por las tablas de dosificación. El pesador lleva un registro de cada una de las pesadas que se efectúen. El pesador también controla el tiempo de mezclado de los camiones. Al pesar adecuadamente se asegura que el volumen proyectado también es correcto; para esto sigue las tablas de dosificación diseñadas para pesar cada uno de los materiales. La secuencia de dosificación es como sigue:

- I. Se llenan las tolvas de agregados con la banda radial.
- II. Se llenan los silos con cemento soplado de las tolvas de transporte.
- III. Se llena el depósito de agua.
- IV. Se llena el depósito de aditivo.
- V. Operando los mecanismos neumáticos de las tolvas de agregados, carga los agregados en su báscula en forma acumulada.
 - a) Se agrega la grava 1 y se registra el peso,
 - b) Se agrega la grava 2 y se registra el peso,
 - c) Se agrega la arena y se registra el peso,
 - d) Este es el total de agregados requeridos.
- VI. Se operan los motores eléctricos que transportan de la tolva de cemento a su báscula, si se excede el peso proyectado, al descargar se deja en báscula la diferencia y se anota el cemento descargado.
- VII. Operando el dispositivo neumático del aditivo y por observación, se coloca en el vaso dosificador la cantidad requerida de aditivo.

- VIII. Prefija en la báscula de agua la cantidad requerida.
- IX. Procede a la carga del camión mezclador operando las bandas transportadoras de la báscula de agregados y de carga al camión, regulando la descarga de cemento y agregados hasta vaciar las cantidades antes dosificada.
- X. Completar la descarga, vigilar el tiempo de mezclado del camión y elabora su remisión, la cual será entregada en la obra por el operador de dicha unidad.
- XI. Inicio de ciclo para la siguiente carga.

4.3.6. TRANSPORTE DE CONCRETO.

La transportación del concreto al sitio de colado se realizará por medio de 2 ollas revolventoras sobre camión. Por lo tanto, se tendrá que verificar que las ollas revolventoras no tengan las siguientes fallas mecánicas, para garantizar la calidad del concreto de la obra.

4.3.6.1. Fallas mecánicas.

- I. Los agitadores de la olla se encuentren en buenas condiciones.
- II. El trompo deberá tener por lo menos de 2 a 6 R.E.M.
- III. Mecánicamente deben estar preparadas para convertirse en mezcladoras.

4.3.7. COLOCACIÓN Y COMPACTACIÓN DE CONCRETO.

4.3.7.1. Colocación de concreto. El deslizado comprende del nivel 0+00 al nivel +120.00 m. Exteriormente tiene una configuración geométrica de forma irregular con un diámetro de 21.30 m. a 16.70 m. de diámetro del nivel 0+00 m. al +120.00 m. respectivamente. El espesor del muro, por lo tanto, es de 65 cm. en el nivel 0+00 y de 35 cm. en el nivel +120.00 m. El izaje de acero de refuerzo será por medio de una pluma accionada con un malacate de 3 ton. de capacidad. El concreto será elevado por medio de 3 malacates de la misma capacidad que el anterior, mediante recipientes de 0.25 m³ de capacidad, especialmente diseñados para esta actividad. Los recipientes elevan el concreto hasta el nivel de la plataforma y lo depositan en los receptores metálicos y estos en carretillas para depositarlo al molde de la cimbra.

4.3.7.2. Compactación de concreto. Para la compactación del concreto, se tendrán 8 vibradores eléctricos, los cuales estarán uniformemente distribuidos para

cubrir las necesidades en el colado. Se anexa croquis de ubicación de malacates. El diámetro de los vibradores es de 2" y los de repuesto de 1 1/2". Adicionalmente, se contará con una grúa, de la cual se usará el malacate en caso de emergencia. El deslizado comprende una altura total de 120.00 m. Exteriormente tiene una configuración geométrica tronco cónica. Se anexa tabla del volumen requerido por cada metro lineal de deslizado. El acero de refuerzo será izado por medio de un malacate de 3 ton. de capacidad; al inicio se contará con el apoyo de una grúa de 20 ton. El concreto será elevado con 3 malacates de la misma capacidad del acero de refuerzo y 30 H.P. utilizando recipientes de 0.200 m³ diseñados para esta actividad (concrete hoist). El concreto se deposita en el molde de la cimbra por medio de 6 carretillas distribuidas en los 3 malacates, al inicio del colado se podrá vaciar el concreto hasta el 75% del molde en forma directa con las ollas revolventoras o con bomba, según sea conveniente.

4.3.8. PRUEBAS AL CONCRETO.

La selección del proporcionamiento del concreto, es el resultado de las pruebas de laboratorio las cuales determinan las propiedades básicas de los materiales que van a ser usados. Estas pruebas determinan el rango de la relación agua - cemento, el contenido de aire, la cantidad de cemento, resistencia de proyecto así como su manejabilidad.

4.3.8.1. Método de prueba de revenimiento para concreto hidráulico. Esta prueba sirve para la determinación del revenimiento del concreto, tanto en el campo como en el laboratorio. La referencia que se tomó en consideración, fué la norma **ASTM C 143-90a, Método de prueba estándar para el revenimiento de concreto hidráulico.** Esta prueba es aplicable a concretos plásticos que contengan agregados hasta de 1 1/2" (37.5 mm.) de diámetro. Si se emplearan agregados de tamaños más grandes, se debe recurrir a una sección titulada **Procedimientos adicionales para tamaños máximos de agregados,** de la norma **ASTM C 172.** Cabe mencionar que dichas normas no se aplican a concretos no plásticos y no cohesivos.

i. Aparatos.

- a) **Molde.** El espécimen se formará en un molde de metal de forma cónica, cuyo espesor de pared no será menor de 0.045" (1.14 mm.). Su base medirá 8" (203 mm.) de diámetro, disminuyendo progresivamente hasta medir 4" (102 mm.) de diámetro en la punta, además de que su altura será de 12" (305 mm.). Tanto la base como la punta deberán estar abiertas; su superficie interior deberá ser completamente lisa, y al momento de realizar la prueba, la superficie en donde se apoye tendrá que ser no absorbente.

- b) **Pisón.** El pisón deberá ser redondo en la punta, fabricado en acero; tendrá un diámetro de 5/8" (16 mm.) y una longitud de 24" (600 mm.).
- ii. **Procedimiento.** El cono se colocará sobre una superficie lisa, rígida, húmeda y no absorbente. Este se llenará en 3 capas, o sea, vertiendo cada vez un tercio del cono. Se procederá a darle 25 golpes a cada una de las capas del concreto, distribuyendo uniformemente los golpes sobre toda la sección transversal, en forma vertical cuidando que el pisón penetre hasta la capa anterior. Una vez realizado el mismo procedimiento con las 3 capas, se procede a retirar el concreto excedente del cono con un rodillo en forma circular. Después se levantará el molde en forma vertical sin hacer ningún movimiento lateral. Se especifica levantar el cono a una distancia de 12" (300 mm.). Enseguida se medirá el revenimiento presentado por el espécimen, comparando la altura original del cono, con la altura que muestra la masa del concreto. Si se presentara el caso de que 2 pruebas consecutivas de concreto tuvieran desprendimientos de material, es probable que le hiciera falta plasticidad y cohesión, por lo que se procederá a revisar las proporciones de los materiales utilizados o el tiempo de mezclado, o tomar la decisión de incluir algún aditivo. Por especificaciones del **American Concrete Institute (ACI)**, según la norma **ACI 211.1-91**, en caso de que en el diseño de la mezcla no se estableciera el revenimiento del concreto, se recomienda el uso de la siguiente tabla:

TABLA 4.3- 8

TABLA 6.3.1. Revenimientos recomendados para varios tipos de construcción. (Tomada de la norma ACI 211.1-91).

Tipo de construcción	Revenimiento (pulgadas).	
	Máximo	Mínimo
Muros y zapatas reforzadas para cimentación.	3	3
Zapatas planas, cajones y muros de cimentación.	3	1
Trabes y muros reforzados.	4	1
Columnas de edificios.	4	1
Pavimentos y losas.	3	1
Masas de concreto.	2	1

4.3.8.2. Control de temperatura del concreto. El concreto puede ser producido en climas cálidos dentro de los límites máximos de temperatura, siempre y cuando cumpla satisfactoriamente con las características de proporcionamiento, producción, colocación y curado. Los agregados finos deberán almacenarse a la sombra. No obstante, el humedecimiento de los materiales tiende a causar variaciones en la superficie, lo cual podría

complicar el control del revenimiento. Las superficies de la revoladora deberán estar pintadas de blanco, para minimizar el calor producido por el sol. Haciendo un comparativo de 3 tambores expuestos durante una hora al sol, uno de ellos pintado de color blanco, otro de color beige y el otro de color negro o rojo, el blanco presenta una temperatura de 0.3 °C más baja que el de color beige y de 1 °C a 1.5 °C menos que el que está pintado de negro o rojo. Estableciendo los principios para el enfriamiento del concreto, se deberán de verificar las siguientes condiciones:

- I. Se checarán las temperaturas de los agregados, cemento y agua, al iniciar la producción de concreto y cuando se tengan variaciones de temperatura en el concreto se recurrirá a los nomogramas para determinar la cantidad del hielo.
- II. El hielo se tendrá disponible en la obra a través de un camión hermético del proveedor.
- III. El laboratorio del concreto checará en campo la temperatura del concreto a todas las ollas transportadoras de concreto.
- IV. Se anexan los nomogramas para determinar la cantidad de hielo de acuerdo a la temperatura de los agregados, agua y cemento.
- V. Se llenará el registro de tiempo de fraguado por el personal de laboratorio de control de calidad.

4.3.8.3. Cilindros para pruebas de resistencia a la compresión. Las siguientes anotaciones, fueron tomadas de las especificaciones editadas por la *American Society for Testing and Materials*, en su norma *C 192-90a, Standard practice for making and curing concrete test specimens in the laboratory.*

I. Aparatos.

- a) **Moldes.** Los moldes para la prueba de especímenes, deberán estar contruídos de acero, hierro fundido o cualquier otro material no absorbente y que no sea reactivo a los componentes del concreto. Los moldes deberán mantener sus dimensiones especificadas aún en condiciones de uso severo, vigilando que después de una prueba no sufran una elongación de 0.002" por cada pulgada de altura del cilindro. En cuanto a sus dimensiones, su altura deberá ser del doble de su diámetro interno. El espesor de su pared no podrá ser inferior a 0.070" (1.8 mm.). Su forma será la de un cilindro recto abierto en su extremo superior. Además, los moldes deberán ser ligeramente cubiertos para el moldeo de especímenes de prueba, tales como la resistencia a la

compresión, módulo de Young y resistencia a la tensión, tienen variaciones en cuanto a sus dimensiones, siendo estas las más comunes. El diámetro mínimo de un espécimen será de 2" (50 mm.) y su longitud mínima de 4" (100 mm.). Para pruebas específicas, como la de resistencia a la compresión, el diámetro será de 6" (15 cm.) y su longitud de 12" (30 cm.). Cuando se compare el tamaño máximo del agregado con respecto al tamaño del espécimen, se deberá verificar que el diámetro mínimo de la sección transversal del cilindro sea por lo menos, 3 veces del tamaño máximo del agregado nominal de la mezcla del concreto. Usualmente se moldean 3 o más cilindros para cada una de las edades de prueba, menos que se especifique otra cosa. Para cada edad, se tomarán muestras de 3 diferentes ollas mezcladas en diferentes días.

- (*) **Nota:** Para cilindros de prueba de resistencia a la compresión, las edades a las que se examinarán, serán a los 7 y a los 28 días; y de 14 y 28 días para las pruebas de resistencia a la flexión. Si el concreto contiene cemento del tipo III, se le realizarán pruebas al espécimen a los 1, 3, 7 y 28 días.
- b) **Pisones.** Se especifican 2 tamaños en las normas *ASTM*, ambos hechos de acero, de punta redondeada de forma hemisférica y cuyo mango tenga el mismo diámetro que la punta. El pisón más corto mide 12" (305 mm.) de longitud y tiene un diámetro de 3/8" (10 mm.). El más largo posee una longitud de 24" (610 mm.) y un diámetro de 5/8" (16 mm.).
- c) **Macetas.** Se empleará una maceta de cabeza de hule o cabeza de cuero, pesando 1.25 ± 0.50 libras (0.57 ± 0.23 kg.)

4.3.8.4. *Fabricación de los especímenes.*

- i. **Sitio de colado de los cilindros.** Los especímenes deberán estar cerca del sitio en donde se almacenarán los cilindros durante las primeras 24 horas posteriores al colado. Si no es posible colarlos en el sitio en donde se van a almacenar, entonces deberán de ser trasladados inmediatamente después de ser colados. Los cilindros se deben situar en una superficie libre de vibraciones. Se buscará evitar que la superficie del espécimen sufra vibración, golpeteo, inclinación o fracturamiento mientras se realiza el traslado del cilindro al sitio de almacenado. Para el vertido del concreto dentro del cilindro, se recurrirá al uso de cuchara, pala o cucharón. Se moverá la cuchara o pala alrededor del borde superior del molde conforme se va vaciando el concreto, para asegurar una distribución simétrica del concreto y disminuir la separación de los agregados dentro del molde. Para la determinación del número de capas del espécimen, se deberá recurrir a la Tabla 1, que a continuación se presenta:

TABLA 4.3-9

TABLA 1: Número de capas requeridas para los especímenes. (Tomada de la Especificación ASTM C 192-90a)

Tipo y tamaño del espécimen, altura en pulgadas y mm.	Clase de compactación.	Número de capas.	Espesor aproximado de la capa, en pulgadas y mm.
Cilindros			
Hasta 12" (300 mm.)	Apisonamiento	3 iguales	4" (100 mm.)
Mayores de 12" (300 mm.)	Apisonamiento	Según como se requiera	No aplica
Hasta 18" (460 mm.)	Vibrado	2 iguales	8" (200 mm.) tan cerca como practicable
Mayores de 18" (460 mm.)	Vibrado	3 o más	No aplica
Prismas y cilindros horizontales			
Hasta 12" (300 mm.)	Apisonamiento	2 iguales	No aplica
Mayores de 12" (300 mm.)	Apisonamiento	3 o más	4" (100 mm.)
Hasta 18" (460 mm.)	Vibrado	1	No aplica
Mayores de 18" (460 mm.)	Vibrado	2 o más	8" (200 mm.) tan cerca como practicable

- ii. **Métodos de compactación.** Para compactar el concreto se hará uso del vibrado, tanto interno como externo y el apisonamiento. El vibrado se emplea cuando el revenimiento de la mezcla es de 1" a 3" (de 25 a 75 mm.), este vibrado tendrá que ser interior. Cuando se tiene un revenimiento de 3" (75 mm.) se recurrirá al apisonado. El vibrado exterior se usa cuando los cilindros de prueba tiene un diámetro inferior a 4" (100 mm.) o en traves o prismas de 4" (100 mm.) de peralte o inferiores.

- III. **Apisonamiento.** Una vez vaciado el concreto en el molde, en capas de igual volumen, se debe compactar el concreto con los golpes y pisones especificados en la Tabla 2. Los golpes se deben distribuir uniformemente en toda la superficie e introducirse en la capa inferior aproximadamente 1/2" (12 mm.).

TABLA 4.3- 10

TABLA 2. Diámetro del pisón y número de golpes requeridos para el moldeado de los especímenes de prueba. (Tomada de la Especificación ASTM C 192-90a).

Cilindros.	Diámetro del cilindro en pulgadas y mm.	Diámetro del pisón en pulgadas y mm.	Número de golpes por capa.
	2" (50 mm.) a 6" (150 mm.)	3/8" (10 mm.)	25
	6" (150 mm.)	5/8" (16 mm.)	25
	8" (200 mm.)	5/8" (16 mm.)	50
	10" (250 mm.)	5/8" (16 mm.)	75

Trabes y prismas.	Área de la punta del espécimen pulg ² (cm ²)	Diámetro del pisón en pulgadas y mm.	Número de pasadas por capa.
	25" (160 mm.) o menos	3/8" (10 mm.)	25
	26" a 49" (165 a 310 mm.)	3/8" (10 mm.)	Uno por cada 1 pulg ² (7 cm ²) de superficie
	50" (320 mm.) o más	5/8" (16 mm.)	Uno por cada 2 pulg ² (14 cm ²) de superficie

Cilindros horizontales.	Diámetro del cilindro en pulgadas y mm.	Diámetro del pisón en pulgadas y mm.	Número de pasadas por capa.
	6" (150 mm.)	5/8" (16 mm.)	50 en total, 25 a lo largo de ambos lados del eje

- IV. **Vibrado.** Se tiene que mantener una duración uniforme del vibrado, dependiendo de la manejabilidad del concreto y de la efectividad del vibrador. En caso de excederse en el tiempo de vibrado, podría ocasionar segregación en la mezcla. En los cilindros, deben efectuarse 3 inserciones del vibrador en diferentes lugares de cada una de las capas; penetrando este hasta 1" (25 mm.) dentro de la capa inferior.

4.3.8.5. **Evaluación y aceptación del concreto.** Las siguientes observaciones, fueron extraídas de las normas editadas por el **American Concrete Institute**, de su especificación **Building code requirements for reinforced concrete (ACI 318-89) and commentary (ACI 318 R-89)**.

- I. **Frecuencia de las pruebas.** Las muestras para las pruebas de resistencia de cada clase de concreto colado cada día deben tomarse por lo menos una vez al día, por lo menos una vez cada 115 m^3 de concreto, y por lo menos una vez cada 465 m^2 de superficie de losas y muros. Cuando en un proyecto dado el volumen total de concreto sea tal que la frecuencia de pruebas requerida proporcione menos de 5 pruebas de resistencia para una clase dada de concreto, las pruebas deberán hacerse por lo menos en 5 mezclas seleccionadas al azar, o en cada mezcla cuando se empleen menos de 5 mezclas. Cuando la cantidad total de una clase dada de concreto sea de menos de 38 m^3 , el director responsable de obra podrá omitir las pruebas de resistencia cuando a su juicio se proporcione evidencia de resistencia satisfactoria y sea autorizada por él. Una prueba de resistencia debe ser el promedio de las resistencias de 2 cilindros hechos de la misma muestra de concreto y probados a 28 días o a la edad de prueba designada para la determinación de f'_c .
- II. **Especímenes curados en laboratorio.** Las muestras para pruebas de resistencia deben tomarse de acuerdo con el **Method of sampling freshly mixed concrete (ASTM C 172)**. Los cilindros para las pruebas de resistencia deben ser moldeados y curados en el laboratorio de acuerdo con la norma **Practice for making and curing concrete test specimens in the field (ASTM C 31)**, y deben probarse de acuerdo con el **Test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens (ASTM C 39)**. El nivel de resistencia de una clase determinada de concreto será considerado satisfactorio si cumple con los requisitos siguientes:

El promedio de todas las series de 3 pruebas de resistencia consecutivas es igual o superior a la f'_c requerida. Ningún resultado individual de la prueba de resistencia (promedio de 2 cilindros) es menor que la f'_c de diseño por más de 35 kg/cm^2 . Cuando no se cumpla con cualquiera de los 2

requisitos de la sección anteriores, deberán tomarse las medidas necesarias para incrementar el promedio de los resultados de las pruebas de resistencia subsecuentes. Cuando no se satisfagan los requisitos del nivel de resistencia deberán seguirse los requisitos de la sección Investigación de resultados de las pruebas de baja resistencia.

- III. **Especímenes curados en campo.** El director responsable de obra puede exigir pruebas de resistencia de cilindros curados en condiciones de campo, para verificar lo adecuado del curado y la protección del concreto en la estructura. Los cilindros deben curarse en condiciones de campo de acuerdo con el *Practice for making and curing concrete test specimens in the field (ASTM C 31)*. Los cilindros de prueba curados en el campo deben moldearse al mismo tiempo y de las mismas muestras que los cilindros de prueba curados en laboratorio. Los procedimientos para proteger y curar el concreto deberán mejorarse cuando la resistencia de cilindros curados en el campo, a la edad de prueba designada para determinar la f_c , sea inferior al 85% de la de cilindros compañeros curados en laboratorio. La limitación del 85% puede omitirse cuando la resistencia de aquellos que fueron curados en el campo exceda a la f_c en más de 35 kg/cm^2 .
- IV. **Investigación de resultados de las pruebas de baja resistencia.** Si cualquier prueba de resistencia de cilindros curados en el laboratorio es menor que el valor especificado de por la f_c por más de 35 kg/cm^2 o si las pruebas de cilindros curados en el campo indican deficiencias de protección y de curado, deberán tomarse medidas para asegurarse de que no se pone en peligro la capacidad de carga de la estructura. Si se confirma que el concreto es de baja resistencia y los cálculos indican que la capacidad de carga se ha reducido significativamente, se pueden requerir pruebas de corazones extraídos de la zona en cuestión, de acuerdo con el *Method of obtaining and testing drilled cores and sawed beams of concrete (ASTM C 42)*. En esos casos deben tomarse cada resultado de prueba de resistencia que sea menor de f_c en más de 35 kg/cm^2 . Si el concreto de la estructura va a estar seco en las condiciones de servicio, los corazones deberán secarse al aire a una temperatura entre 15° y 27° C y a una humedad relativa menor del 60%, durante 7 días antes de la prueba, y deberán probarse secos.

Si el concreto de la estructura va a estar más que superficialmente húmedo en las condiciones de servicio, los corazones deberán sumergirse en agua por lo menos durante 40 horas y probarse húmedos. El concreto de la zona representada por las pruebas de corazones se considerará estructuralmente adecuado, si el promedio de los 3 corazones es por lo menos igual al 85% de la f_c y ningún corazón tiene una resistencia menor del 75% de la f_c . A fin de comprobar la precisión de las pruebas, las zonas representativas de resistencias irregulares de los corazones pueden probarse adicionalmente. Si no se satisfacen los criterios de la sección anterior y si

además hay dudas con respecto a la confiabilidad estructural, la autoridad responsable puede ordenar pruebas de carga para la parte dudosa de la estructura, o pueden tomar otras medidas según las circunstancias.

4.3.9. CONTROL DEL TIEMPO DE FRAGUADO PARA DIFERENTES TEMPERATURAS.

El aditivo que se ocupará como retardante en el deslizado, es el pozzolith 322-R; la proporción a utilizar será lo que determinen las pruebas de laboratorio, tomando en cuenta la temperatura ambiental. Por lo tanto, la cantidad de este aditivo se determinará en la obra (laboratorio), mediante una gráfica de fraguado a diferentes temperaturas; esto nos determina el uso de aditivos retardantes y acelerantes en la ejecución del deslizado. El contratista deberá contar en la planta con una cantidad de 1600 litros. Como aditivo retardante se anexa tabla para el registro del tiempo de fraguado. El aditivo que se utilizará, es plastiment "N" y se contará en obra únicamente con 800 litros, con la obligación de tener contratado el faltante por si es necesario. Dicho aditivo deberá de contar con el certificado de calidad de la subgerencia de ingeniería experimental. Como aditivo acelerante no se tendrá en existencia, ya que no es recomendable su uso.

4.3.10. CONTROL DE IZAJE Y VELOCIDAD DE ALZADO.

El proceso de construcción para el fuste de concreto de la chimenea, requiere por las características de la geometría de esta, la utilización del sistema de cimbra deslizante, accionado mediante 32 gatos hidráulicos que elevan paulatinamente el molde de cimbra con impulsos de 5 minutos de intervalo, alcanzando en cada uno de ellos hasta 1" (25 mm.) de carrera. Para iniciar el deslizado, se requiere tener como mínimo el molde con el 75% de su volumen de concreto, llenado en capas uniformes de 20 cm. en un tiempo de 2.5 horas, que deberá ser igual al del fraguado inicial del concreto. La velocidad de izaje en promedio será de 20 cm/hr, por lo tanto, la duración total del colado del fuste será de 25 días efectivos.

4.3.10.1. Elementos del sistema. Los elementos principales que forman la cimbra deslizante, son los siguientes:

- I. Cimbra de madera con forro de lámina de 1.20 m.
- II. Andador exterior.
- III. Andamios colgantes para dar el acabado exterior e interior.
- IV. Yugos metálicos.
- V. Piernas fijas y móviles metálicas.
- VI. Gatos hidráulicos de 6 toneladas.
- VII. Barras de acero como apoyo.
- VIII. Plataformas de trabajo.

IX. Estructuras de rigidez.

TABLA 4.3- 11

<i>Plantilla de personal para deslizado.</i>			
CATEGORÍA	TURNO 1	TURNO 2	TOTAL
Ingenieros	2	2	4
Topógrafos	1	1	2
Sobrestantes	2	2	4
Cabos de oficios	2	2	4
Fierreros	24	24	48
Albañiles	8	8	16
Carpinteros	4	4	8
Soldadores	1	1	2
Electricistas	1	1	2
Malacateros	4	4	8
Ayudantes	44	44	88
Choferes	1	1	2
Mecánicos	1	1	2
TOTAL	95	95	190

TABLA 4.3- 12

<i>Relación de plantilla de personal.</i>			
ACTIVIDAD	CATEGORÍA	OFICIALES	AYUDANTES
1. Acero de refuerzo	Sobrestantes	1	0
	Cabos de oficios	1	0
	Colocación	24	12
	Izaje	0	5
2. Concreto	Sobrestantes	1	0
	Cabos de oficios	1	0
	Carretilleros	0	9
	Vibradoristas	0	8
	Paileros X malacate	0	3
3. Acabado y curado	Albañiles (4 en el interior y 4 en el exterior)	8	2
	Concrete hoist	0	3
4. Elevación de concreto			
5. Cimbra	Carpintero (Huecos y escalera)	4	2
6. Soldadura	Soldadores	1	0

7. Alumbrado	Electricistas	1	0
TOTAL		42	44

TABLA 4.3- 13

Relación de personal en la planta de concreto.

CATEGORÍAS	TURNO 1	TURNO 2	TOTAL
Operadores de planta	1	1	2
Auxiliares de planta	1	1	2
Operadores de olla	2	2	4
Mecánicos	1	1	2
Ayudantes	6	6	12
TOTAL	11	11	22

TABLA 4.3- 14

Control para la reducción geométrica del fuste de la chimenea.

NIVELES (m.)	DIÁMETROS			ESPESOR MURO (m.)	REDUCCIÓN (m.)	PERÍMETRO MEDIO (m.)
	EXTERIOR (m.)	EXTERIOR (m.)	EXTERIOR (m.)			
-1.00	21.30	20.65	20.00	0.65	0.00	64.87
0.00	21.30	20.65	20.00	0.65	0.00	64.87
7.70	21.30	20.65	20.00	0.65	0.00	64.87
13.40	20.40	19.79	19.18	0.61	0.04	62.17
20.60	19.74	19.16	18.58	0.58	0.07	60.19
26.60	18.88	18.34	17.80	0.54	0.11	57.62
30.00	18.18	17.68	17.18	0.50	0.15	55.54
37.60	17.78	17.29	16.80	0.49	0.16	54.32
42.00	16.90	16.45	16.00	0.45	0.20	51.68
48.00	16.88	16.44	16.00	0.44	0.21	51.64
56.60	16.85	16.43	16.00	0.42	0.23	51.60
60.00	16.81	16.40	16.00	0.40	0.25	51.53
66.60	16.79	16.39	16.00	0.39	0.26	51.51
72.60	16.76	16.38	16.00	0.38	0.27	51.46
78.60	16.73	16.37	16.00	0.37	0.28	51.42
84.60	16.70	16.35	16.00	0.35	0.30	51.37
90.60	16.70	16.35	16.00	0.35	0.30	51.37
96.60	16.70	16.35	16.00	0.35	0.30	51.37
102.60	16.70	16.35	16.00	0.35	0.30	51.37
108.60	16.70	16.35	16.00	0.35	0.30	51.37
114.60	16.70	16.35	16.00	0.35	0.30	51.37
120.00	16.70	16.35	16.00	0.35	0.30	51.37

4.3.11. TRATAMIENTO DE JUNTA FRÍA.

En caso de presentarse alguna junta fría se determinará conjuntamente con **C.F.E.**, el tratamiento inmediato a aplicarse, proponiendo las siguientes alternativas, como sigue:

- I. **Aplicación directa de mortero cemento-arena.** Aplicar una capa de 5 cm. de mortero cemento-arena, con la misma proporción del concreto que se está utilizando. Sirviendo como liga de un concreto con otro. Debiendo escarificar antes la junta fría.
- II. **Aplicación directa del mortero cemento-arena con aditivo fester bond.** Adicionarle a la mezcla de mortero cemento-arena, el aditivo fester bond en la proporción indicada por el fabricante o la indicada por laboratorio de **C.F.E.**, además de aplicar antes al concreto ya colocado una película del mismo aditivo.
- III. **Aplicación directa de mortero tipo grout.** Aplicar una capa de 3 cm. de mortero tipo grout con la proporción indicada por el fabricante o por **C.F.E.**, esto es con el fin de lograr la unión de un concreto con otro.
- IV. **Preparación de junta en "verde".** Esta junta se preparará con un chiflón de agua a presión, tratando de quitar la capa de mortero de los agregados superficiales, una vez terminada esta, se aplicará una capa de mortero cemento-arena de la misma proporción del concreto utilizado.

4.3.12. REPARACIONES, ACABADO Y CURADO.

- I. **Reparaciones y acabado.** El acabado aparente que dejará el molde de cimbra, será el definitivo, cuando se requiera detallar algún defecto se realizará inmediatamente con esponja, para lograr uniformidad en la apariencia de la superficie. En el caso de un detalle mayor, se realizará la reparación con mortero fabricado del mismo concreto, para obtener así los resultados óptimos de calidad.
- II. **Curado.** El curado se aplicará posteriormente al acabado y se realizará por medio de rodillos manuales o brochas. Este consistirá de la membrana blanca curafest, la que previamente y con anticipación de 15 días por lo menos, será puesta a disposición de **C.F.E.** para probar su calidad. Se contará con suficiente membrana, tomando como base un rendimiento teórico de 4 m²/lts. El personal encargado del acabado será el mismo para la colocación del curado.

4.3.13. PROTECCIÓN DEL CONCRETO CONTRA LLUVIA.

Para la ejecución del deslizado de la chimenea, se contará con protección contra lluvia instalado de la siguiente forma que a continuación se menciona. En la parte superior de la plataforma, se instalarán unos soportes a base de varilla, los cuales servirán para fijar las lonas que protegerán el perímetro del muro del fuste; considerando 50 cm. hacia el centro de la chimenea. En la estructura auxiliar inferior será cubierto el perímetro con polietileno al 100%. Se colocarán postes para el soporte de lona a cada 2 yugos; además se colocará una protección de lámina en la parte inferior de cada malacate para recibir el concreto. Esto será posible cuando la altura de la cimbra deslizante lo permita. En caso de lluvia se colocarán tapas de madera de protección a los concrete hoist.

4.3.14. ALUMBRADO GENERAL.

Se colocarán focos de 150 watts en todo el perímetro del fuste a una altura de 1.80 m. de altura del nivel de plataforma y por cada gato colocado; se hará lo mismo para el andador exterior y el interior para los acabados. Así también se colocarán 8 lámparas de 500 watts en el centro de la plataforma de trabajo a una altura de 6 m. aproximadamente. Para las escaleras se colocarán focos de 150 watts a cada 2 m. de separación en toda la altura. A nivel de piso, se contará con 6 lámparas de 1500 watts para la iluminación de toda el área. Los malacates contarán con iluminación suficiente, con focos de 150 watts.

4.3.15. SEGURIDAD.

Se contará con 2 torres de escalera, una para subir y otra para bajar, colocadas en el centro de los tiros de acero; se dejarán placas embebidas de 4" X 6" X 1/4" que servirán para fijar esta con cable de acero de 3/8" y tensores metálicos de 6" mediante varilla soldada a cada placa; esto se hará a cada 3 marcos de separación. Todo el personal que labore en la chimenea contará con su casco de protección, y en caso necesario, con chamarras de hule para la lluvia. Al personal para dar el acabado por el lado exterior y por el lado interior, contará con barandal de varilla como protección. Se contará con anuncios de seguridad en los malacates, escaleras de acceso y en donde sea necesario. Además se tendrán 2 extinguidores y 200 lts. de agua potable en la plataforma de trabajo; en la parte inferior se acordonará el perímetro de la chimenea mediante cinta de plástico. Se contará con cinturones de seguridad para el personal de los andadores colgantes interiores y exteriores.

4.3.16. CONTROL DE VERTICALIDAD.

Para controlar el desarrollo del fuste, se llevará a cabo un registro de 4 plomadas por el interior, las cuales colgarán de la estructura de la cimbra deslizante y tendrán como referencia cada una círculos concéntricos en el N +0.00 m., que servirán para obtener el comportamiento del molde en cuanto a giros y desplome. Por el lado exterior, con tránsito topográfico y a 100 m. de distancia del fuste, se tendrá una referencia tanto en el concreto como en la cimbra deslizante y registrar los posibles desplazamientos y en base a estos datos, hacer las correcciones necesarias, esto se hará en la cara este y sur del fuste. Para controlar los niveles, se llevarán marcas en una solera de 1 1/2" X 1/4" del inicio al final del deslizado.

4.3.17. ANEXOS.

- I. Ubicación de malacates.
- II. Corte esquemático de cimbra deslizante.
- III. Control de verticalidad.
- IV. Esquema del alumbrado.
- V. Equipo para deslizado.
- VI. Control de verticalidad en deslizado de chimenea.

1	2	3	4	5	6	7	8		9
							ACERO DE REFUERZO	SEPARACIÓN	
NÚMERO DE LA SECCIÓN DEL FUSTE	ALTURA DE LA SECCIÓN (m.)	ESPESOR DE LA PARED (m.)	DIÁMETROS (m.) EXTERIOR MEDIO INTERIOR	DIÁMETROS (m.)	DIÁMETROS (m.)	PERÍMETRO MEDIO DE LA SECCIÓN (m.)	DIÁMETRO DE LA VARILLA (PULG.)	SEPARACIÓN ENTRE VARILLA (m.)	
1	7.70	0.65	21.30	20.65	20.00	64.87	1/2"	0.15	
2	5.70	0.61	20.40	19.79	19.18	62.17	1/2"	0.15	
3	7.20	0.58	19.74	19.16	18.58	60.19	1/2"	0.15	
4	6.00	0.54	18.88	18.34	17.80	57.62	1/2"	0.15	
5	3.40	0.50	18.18	17.68	17.18	55.54	1/2"	0.15	
6	7.60	0.49	17.78	17.29	16.80	54.32	1/2"	0.15	
7	4.40	0.45	16.90	16.45	16.00	51.68	1/2"	0.25	
8	6.00	0.44	16.88	16.44	16.00	51.65	1/2"	0.25	
9	8.60	0.42	16.85	16.43	16.00	51.62	1/2"	0.25	
10	3.40	0.40	16.81	16.40	16.00	51.52	1/2"	0.25	
11	6.00	0.39	16.79	16.39	16.00	51.49	1/2"	0.25	
12	6.00	0.38	16.76	16.38	16.00	51.46	1/2"	0.25	
13	6.00	0.37	16.73	16.37	16.00	51.43	1/2"	0.25	
14	6.00	0.35	16.70	16.35	16.00	51.37	1/2"	0.25	
15	6.00	0.35	16.70	16.35	16.00	51.37	1/2"	0.25	
16	6.00	0.35	16.70	16.35	16.00	51.37	1/2"	0.25	
17	6.00	0.35	16.70	16.35	16.00	51.37	1/2"	0.25	
18	6.00	0.35	16.70	16.35	16.00	51.37	1/2"	0.25	
19	6.00	0.35	16.70	16.35	16.00	51.37	1/2"	0.25	
20	6.00	0.35	16.70	16.35	16.00	51.37	1/2"	0.25	
TOTALES	120.00								

**CENTRAL TERMOELÉCTRICA
PRESIDENTE PLUTARCO ELÍAS CALLES
TABLA DE PROPORCIONAMIENTO
PARA FABRICAR UN CONCRETO DE $f_c = 250 \text{ kg/cm}^2$**

Cemento: TIPO II	Volumen: 1 m³	Tabla de proporcionamiento No. 1	
Marca: VERACRUZ	Resistencia: 250 kg/cm²		
Grava: SAN ROMÁN	Edad de diseño: 28 días	Dosificación corregida por humedad y granulometría	
Arena: ROMÁN MÉDANO	T.M.A. 40 mm.	Grava de 3/4" Arena Médano	60%
Aditivo: POZZOLITH 322 R	ASTM C 94-86		20%

ADITIVO		REVENI-	CEMENTO	GRAVA m ³		ARENA m ³		AGUA
Porcentaje	Cantidad	MIENTO	Cantidad	San Román	San Román	San Román	Médano	Total
%	Litros	cm.	ton.	40 mm.	20 mm.	Gruesa	Fina	Litros
0	0	8	0.345	0.459	1.147	1.809	1.972	198
	0	10	0.357	0.442	1.106	1.778	1.943	205
	0	12	0.368	0.426	1.066	1.746	1.914	211
	0	14	0.380	0.410	1.026	1.715	1.885	218
0.2	0.663	8	0.332	0.460	1.149	1.813	1.977	181
	0.687	10	0.343	0.443	1.108	1.782	1.947	188
	0.710	12	0.355	0.427	1.068	1.750	1.918	194
	0.734	14	0.367	0.411	1.028	1.719	1.889	201
0.4	1.273	8	0.318	0.461	1.152	1.817	1.981	174
	1.320	10	0.330	0.444	1.111	1.785	1.952	180
	1.367	12	0.342	0.428	1.070	1.754	1.923	187
	1.414	14	0.353	0.412	1.031	1.723	1.894	193
0.6	1.910	8	0.318	0.464	1.161	1.831	1.997	170
	1.980	10	0.330	0.448	1.120	1.800	1.967	177
	2.051	12	0.342	0.432	1.079	1.769	1.938	183
	2.121	14	0.353	0.416	1.039	1.737	1.909	190
0.8	2.547	8	0.318	0.468	1.170	1.846	2.012	167
	2.640	10	0.330	0.451	1.129	1.814	1.983	173
	2.734	12	0.342	0.435	1.088	1.783	1.954	180
	2.828	14	0.353	0.419	1.048	1.752	1.925	186

**CENTRAL TERMOELÉCTRICA
PRESIDENTE PLUTARCO ELÍAS CALLES
TABLA DE PROPORCIONAMIENTO
PARA FABRICAR UN CONCRETO DE $f_c = 250 \text{ kg/cm}^2$**

Cemento: TIPO II	Volumen: 1 m³	Tabla de proporcionamiento No. 2	
Marca: VERACRUZ	Resistencia: 250 kg/cm²		
Grava: SAN ROMÁN	Edad de diseño: 28 días	Proporcionamiento base con inductor de aire	
Arena: ROMÁN MÉDANO	T.M.A. 40 mm.	Grava de 3/4" Arena Médano	60% 20%
Aditivo: POZZOLITH 322 R	ASTM C 94-86		

ADITIVO		REVENI- MIENTO	CEMENTO	GRAVA m ³		ARENA m ³		AGUA
Porcentaje	Cantidad			Cantidad	San Román	San Román	San Román	
%	Litros	cm.	ton.	40 mm.	20 mm.	Gruesa	Fina	Litros
0	0	8	0.312	0.458	1.146	1.760	1.911	186
	0	10	0.323	0.442	1.106	1.729	1.883	193
	0	12	0.334	0.426	1.066	1.698	1.854	200
	0	14	0.345	0.411	1.027	1.668	1.825	206
0.2	0.600	8	0.300	0.465	1.163	1.786	1.940	171
	0.623	10	0.311	0.449	1.122	1.755	1.911	177
	0.645	12	0.323	0.433	1.082	1.724	1.882	183
	0.668	14	0.334	0.417	1.043	1.694	1.854	190
0.4	1.153	8	0.288	0.472	1.180	1.813	1.968	164
	1.198	10	0.300	0.456	1.139	1.781	1.939	170
	1.243	12	0.311	0.439	1.099	1.750	1.911	177
	1.289	14	0.322	0.423	1.059	1.719	1.882	183
0.6	1.730	8	0.288	0.476	1.189	1.826	1.982	161
	1.798	10	0.300	0.459	1.147	1.794	1.954	167
	1.865	12	0.311	0.443	1.107	1.763	1.925	173
	1.933	14	0.322	0.427	1.067	1.732	1.896	180
0.8	2.307	8	0.288	0.479	1.197	1.839	1.997	157
	2.397	10	0.300	0.462	1.156	1.807	1.968	164
	2.487	12	0.311	0.446	1.115	1.776	1.939	170
	2.577	14	0.322	0.430	1.075	1.745	1.911	177

**CENTRAL TERMOELÉCTRICA
PRESIDENTE PLUTARCO ELÍAS CALLES
TABLA DE PROPORCIONAMIENTO
PARA FABRICAR UN CONCRETO DE $f'_c = 250 \text{ kg/cm}^2$**

Cemento: TIPO II	Volumen: 1 m³	Tabla de proporcionamiento No. 3	
Marca: VERACRUZ	Resistencia: 250 kg/cm²	Proporcionamiento original	
Grava: SAN ROMÁN	Edad de diseño: 28 días		
Arena: ROMÁN MÉDANO	T.M.A. 40 mm.	Grava de 3/4"	60%
Aditivo: POZZOLITH 322 R	ASTM C 94-86	Arena Médano	20%

ADITIVO		REVENI-	CEMENTO	GRAVA m ³		ARENA m ³		AGUA
Porcentaje	Cantidad	MIENTO	Cantidad	San Román	San Román	San Román	Médano	Total
%	Litros	cm.	ton.	40 mm.	20 mm.	Gruesa	Fina	Litros
0	0	8	0.311	0.461	1.153	1.821	1.985	155
	0	10	0.322	0.445	1.112	1.791	1.958	161
	0	12	0.333	0.429	1.071	1.760	1.930	167
	0	14	0.343	0.413	1.031	1.730	1.902	173
0.2	0.600	8	0.300	0.468	1.170	1.847	2.014	148
	0.622	10	0.311	0.451	1.128	1.817	1.986	154
	0.643	12	0.322	0.435	1.087	1.786	1.958	160
	0.665	14	0.332	0.419	1.047	1.756	1.931	166
0.4	1.155	8	0.289	0.475	1.186	1.873	2.042	141
	1.198	10	0.300	0.458	1.144	1.843	2.015	147
	1.241	12	0.310	0.441	1.103	1.812	1.987	153
	1.284	14	0.321	0.425	1.062	1.782	1.959	159
0.6	1.733	8	0.289	0.478	1.195	1.886	2.057	137
	1.798	10	0.300	0.461	1.152	1.856	2.029	143
	1.862	12	0.310	0.444	1.111	1.825	2.001	149
	1.927	14	0.321	0.428	1.070	1.795	1.973	155
0.8	2.311	8	0.289	0.481	1.203	1.899	2.071	134
	2.397	10	0.300	0.464	1.160	1.869	2.043	140
	2.483	12	0.310	0.447	1.119	1.838	2.015	146
	2.569	14	0.321	0.431	1.078	1.808	1.988	152

FIGURA 4.1.

VISTA EN PLANTA DE LA CHIMENEA.

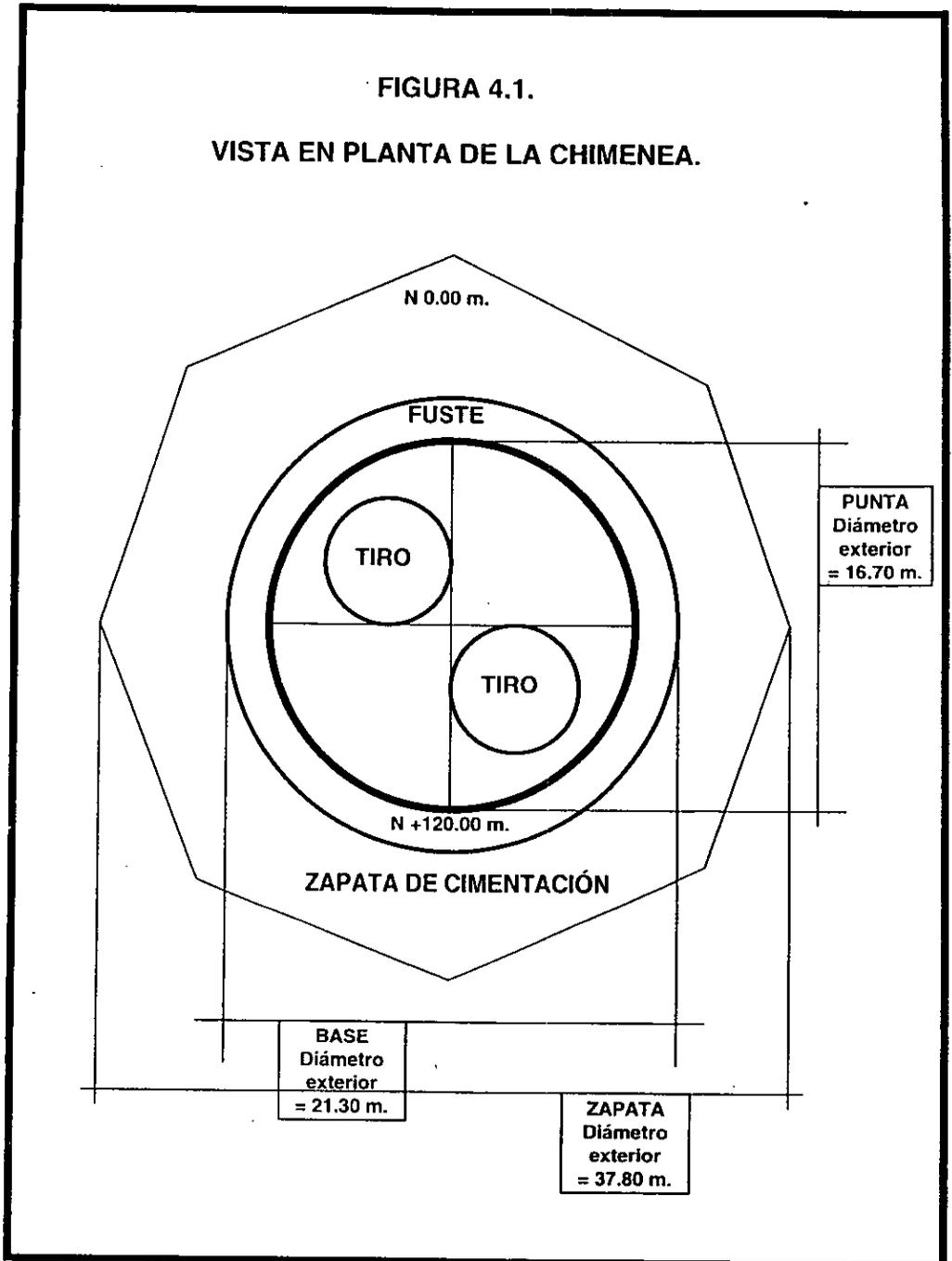


FIGURA 4.2.
LOCALIZACIÓN DE PLOMOS PARA EL
CONTROL DE VERTICALIDAD

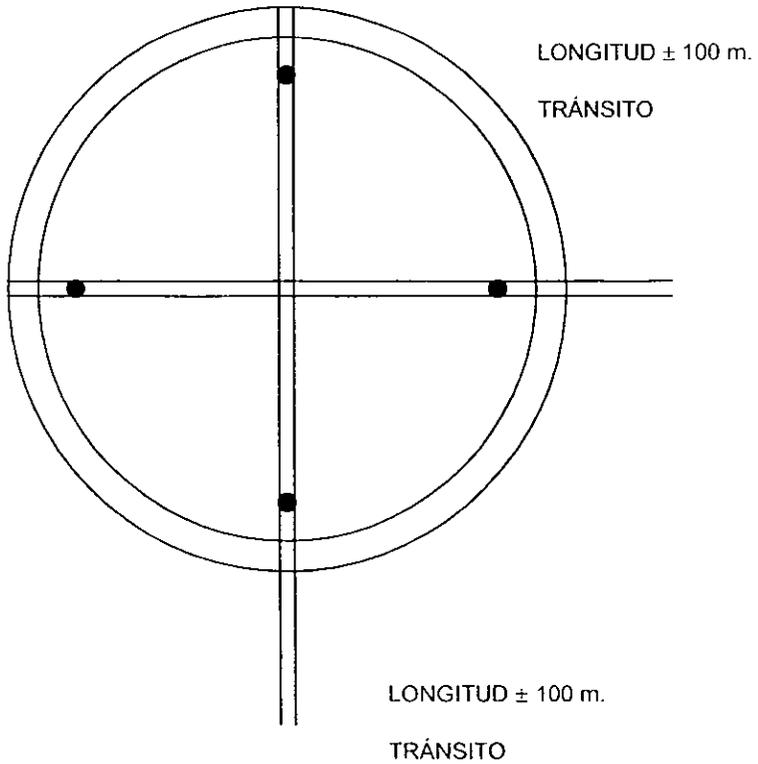
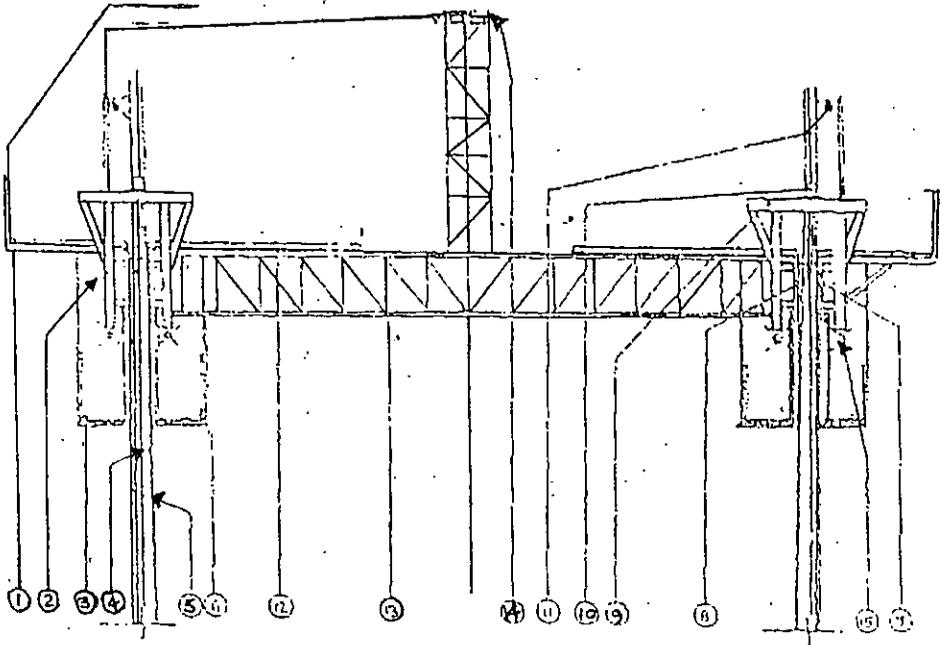


FIGURA 4.3.

CIMBRA DESLIZANTE PARA EL VACIADO DE CONCRETO EN EL FUSTE.



RELACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE LA CIMBRA DESLIZANTE.

- | | |
|----------------------------------|------------------------------|
| 1. Andador. | 9. Yugo. |
| 2. Piernas. | 10. Gato. |
| 3. Andamio de acabado exterior. | 11. Barra de apoyo del gato. |
| 4. Acero de refuerzo. | 12. Plataforma de trabajo. |
| 5. Muro de concreto ambas caras. | 13. Estructura de rigidez. |
| 6. Andamio de acabado interior. | 14. Lámpara de 500 watts. |
| 7. Cimbra exterior. | 15. Focos de 150 watts. |
| 8. Cimbra interior. | |

BIBLIOGRAFÍA

ACI Committee 211.

Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete. (ACI 211.1-91). U.S.A.

ACI Committee 304.

Guide for the use of preplaced aggregate concrete for structural and mass concrete applications. (ACI 304.1 R-92). U.S.A.

ACI Committee 304.

Guide for the use of volumetric-measuring and continuous-mixing concrete equipment. (ACI 304.6 R-91). U.S.A.

ACI Committee 305.

Hot weather concreting. (ACI 305 R-91). U.S.A.

ACI Committee 307.

Standard practice for the design and construction of cast-in-place reinforced concrete chimneys. (ACI 307-88). U.S.A.

ACI Committee 307.

Comentary on standard practice for the design and construction of cast-in-place reinforced concrete chimneys. (ACI 307-88). U.S.A.

ASTM A 615-92.

Standard specification for deformed and plain billet-steel bars for concrete reinforcement. U.S.A.

ASTM A 276-91 a.

Standard specification for stainless and heat-resisting steel bars and shapes. U.S.A.

Manual De Diseño de Obras Civiles.

C.2.7. Instituto de Investigaciones Eléctricas. 1981.

Comisión Federal de Electricidad. México.

Diseño estructural con normas de ACI.

Rice, Paul F. y Hoffman, Edward S.

1984. Edit. Limusa. México.

Manual de tecnología del concreto.

Sección 1. Definición y requisitos de los componentes del concreto.

Comisión Federal de Electricidad.

Instituto de Ingeniería. U.N.A.M.

1994. Edit. Limusa. México.

Manual de tecnología del concreto.

Sección 2. Concreto fresco y en curso de endurecimiento.

Comisión Federal de Electricidad.

Instituto de Ingeniería. U.N.A.M.

1994. Edit. Limusa. México.

Manual de tecnología del concreto.

Sección 3. Concreto en estado endurecido.

Comisión Federal de Electricidad.

Instituto de Ingeniería. U.N.A.M.

1994. Edit. Limusa. México.

Manual de diseño de estructuras de concreto conforme al Reglamento ACI 318.

1990. Portland Cement Association. Estados Unidos.

1995. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. México.

ACTIVIDADES DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD QUE SE DEBEN APLICAR DURANTE LA CONSTRUCCIÓN

Al llevarse a cabo la construcción de una estructura de gran magnitud, como lo es una chimenea para una central termoeléctrica, deben de seguirse diversas actividades conducentes al cumplimiento de los estándares de calidad que establecen las legislaciones, tanto mexicanas como internacionales. Muchas de las especificaciones para este tipo de estructuras, no son iguales en nuestro país a las normas de otras naciones, debido a diferentes circunstancias, como pueden ser:

- a) Condiciones climatológicas;
- b) Tipos de suelo distintos en cada nación;
- c) Diversos requerimientos constructivos;
- d) A causa de necesidades de tipo ambiental;
- e) Requerimientos legales (por la operación de aeropuertos, bases militares, observatorios meteorológicos, etc.);
- f) Abundancia de los bancos de material, etc.

Estas son algunas de las especificaciones que se tienen que cumplir para la construcción de la estructura de una chimenea:

5.1. CHIMENEAS DE CONCRETO REFORZADO.

5.1.1. ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES.

5.1.1.1. Generalidades.

Las chimeneas construidas de concreto reforzado, así como sus cimentaciones, deberán diseñarse en base a la teoría elástica del concreto reforzado, cumpliendo con los límites de los esfuerzos admisibles. En base a estas generalidades, los materiales a emplearse deberán de estar contenidos dentro de las siguientes normas de calidad:

5.1.1.2. Agregados pétreos.

Los agregados pétreos consistirán en gravas y arenas extraídas de bancos naturales o de piedra triturada, salvo que los planos y/o especificaciones particulares indiquen el empleo de algún otro tipo de material inerte. Los agregados pétreos no deberán contener partículas blandas, desmenuzables, delgadas, escamosas, alargadas o laminadas, en un total mayor del 3%, ó polvo de fractura más fina que la malla No. 200 en exceso del 2%. Los porcentajes anteriores están basados sobre la combinación del peso de los agregados, tal cual vayan a usarse en el concreto. La cantidad total de estas sustancias nocivas no deberá de exceder en un 5% del peso de los agregados. Estos se clasificarán por tamaños, según los siguientes parámetros de separación:

TABLA 5.1- 1

Material	Separación de la malla
Arena	0.074 mm. a 4.76 mm. (No. 200 a No. 4)
Grava 1	4.76 mm. a 19.0 mm. (No. 4 a 3/4")
Grava 2	19.0 mm. a 38.1 mm. (3/4" a 1 1/2")

La graduación de la arena, deberá quedar dentro de los siguientes parámetros:

TABLA 5.1- 2

Malla (abertura)	Porcentaje que pasa en peso
3/8" (9.5 mm.)	100%
No. 4 (4.75 mm.)	95% a 100%
No. 8 (2.36 mm.)	80% a 100%
No. 16 (1.18 mm.)	50% a 85%
No. 30 (0.6 mm.)	25% a 60%
No. 50 (0.3 mm.)	10% a 30%
No. 100 (0.15 mm.)	2% a 10%

Agregado grueso, es todo aquel material retenido por la malla No. 4, **ASTM C-125-84**. La granulometría del agregado grueso para los diferentes tamaños será la siguiente (*Tabla 2 de ASTM C-33-84*).

TABLA 5.1- 3

Porcentaje en peso que pasa la malla (Tomada de la Especificación ASTM C-33-84, TABLA 2)

Tamaño nominal	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4
2"	100	95-100	°	35-70	°	10-30	°	0-5
1 1/2"	°	100	95-100	°	35-70	°	10-30	0-5
1"	°	°	°	95-100	°	25-60	°	0-10
3/4"	°	°	°	100	90-100	°	20-55	0-10

El agregado grueso será indicado en los planos de diseño y/o en las especificaciones particulares. Las pruebas a que se someterán los agregados para su aceptación serán:

- | | |
|---------------------------------|----------------------------------|
| a) Muestreo. | g) Intemperismo acelerado. |
| b) Granulometría. | h) Grumos de arcilla. |
| c) Impurezas inorgánicas. | i) Partículas ligeras. |
| d) Calidad de la arena. | j) Abrasión del agregado grueso. |
| e) Resistencia a la compresión. | k) Módulo de finura. |
| f) Resistencia a la flexión. | l) Reactividad de agregados. |

Las normas de ejecución de las pruebas antes mencionadas, serán las indicadas en **ASTM 33 (Especificación estándar de agregados para concreto)**. El almacenamiento y manejo de los agregados pétreos, deberán hacerse de manera que no altere su composición granulométrica por trituración ó clasificación de los distintos tamaños que lo forman ni que se mezclen con polvo u otras materias extrañas, contaminándose. Deberán almacenarse en plataformas o sitios adecuados y en lotes suficientemente distantes para evitar que se mezclen entre sí los agregados de diferente clasificación. La dosificación del contenido de humedad de los agregados, debe ser uniforme y estable. El agregado con exceso de humedad deberá drenarse antes de utilizarse. No se aceptará la fabricación de un concreto con una arena que contenga más del 7% de humedad. La capa de agregados que se encuentre en contacto con el suelo no se utilizará por el riesgo de haberse contaminado. El tamaño del agregado de mayor tamaño, no debe exceder de 1/8 del espesor de la sección, ni de 1/2 de la menor distancia libre entre las varillas de refuerzo.

5.1.1.3. Aditivos.

Aditivos son aquellas sustancias que se añaden al concreto para aumentar o disminuir ciertas características, tales como su manejabilidad, tiempo de fraguado, segregación, expansión, resistencia al desgaste, reducción de agua, color, etc. No se deben de utilizar aditivos aceleradores o retardadores del fraguado del concreto, a excepción de que exista cierta especificación que así lo determine. Para ello, a continuación se hace mención de las diferentes clases de aditivos que existen:

- I. Acelerantes.** Los aditivos que aumentan la velocidad de hidratación del conglomerante, se conocen como acelerantes. Se utilizan para darle una duración más corta del fraguado, con lo que se consiguen mayores resistencias en periodos de tiempo considerablemente más cortos. Evitan la segregación de los materiales.

- II. Retardadores.** Los retardadores son los aditivos empleados cuando el efecto que se busca, es el de disminuir la velocidad de hidratación del cemento, con lo cual se incrementan los tiempos de fraguado. Deberá de tenerse mucho cuidado en el uso de retardantes y evitar su uso cuando las temperaturas ambientales sobrepasen los 30° centígrados, a no ser que los fabricantes del retardante garanticen lo contrario.

- III. Incluidores de aire.** Son los aditivos que durante la mezcla, ayudan a incorporar un volumen de aire mayor del normal al concreto. Se usan para cubrir deficiencias de la granulometría de los agregados finos. El aire incorporado produce un concreto muy resistente a los efectos de congelación y descongelación, eliminando la incrustación resultante del uso de productos químicos descongelantes sobre los pavimentos, reduce la cantidad de agua requerida para un grado particular de consistencia y mantiene la homogeneidad de la mezcla, reduciendo la segregación de los agregados. Mejora el acabado en concretos aparentes y no afecta al tiempo de fraguado.

- IV. Fluidificantes.** Son los productos que incrementan la plasticidad del concreto recién mezclado.

- V. Impermeabilizantes.** Los hidrófugos y los impermeabilizantes tienen la propiedad de reducir la permeabilidad del concreto y su capacidad de absorción. Los materiales que disminuyen esta última, se llaman repelentes al agua. La acción de estos elementos puede consistir en la inversión del sentido del movimiento del agua en los conductos capilares o en la interrupción de estos.

- VI. Dispersantes.** Tienen como propiedad la reducción de la relación agua-cemento, lo que produce un aumento en la resistencia a la compresión, ayudan a reducir las contracciones y aumentan la manejabilidad del concreto, facilitando su compactación.

VII. Expansores. Los expansores aumentan el volumen del concreto, al generar burbujas gaseosas que evitan agrietamientos y mejoran su fluidez.

VIII. Endurecedores. Estos se utilizan para producir superficies resistentes a la abrasión. Los hay de diferentes tipos y producen distintos grados de dureza. Deberá de evitarse el uso de más de un aditivo a la vez, ya que su mezcla puede dar origen a reacciones físico-químicas nocivas. Conforme a su subdivisión los aditivos deben cumplir con las normas **ASTM C 98**, **ASTM C 260**, **ASTM C 618** y **ASTM C 494**.

5.1.1.4. Concreto.

La resistencia especificada del concreto a la compresión será de $f_c = 200 \text{ kg/cm}^2$ como mínimo, a los 28 días de haberse realizado el colado. Asimismo, deberá satisfacerse la relación agua-cemento en peso, incluida la humedad de los agregados, y esta será de 0.53 como máximo.

I. Revenimiento. El concreto tendrá el revenimiento establecido en los planos de diseño o por lo especificado por **C.F.E.**, teniendo esta la facultad de verificarlo con la frecuencia que considere necesaria. Las especificaciones que se tomarán como referencia, serán la **ASTM C 143** y la **ASTM C 94**.

II. Recubrimientos. Para los recubrimientos se efectuarán los señalados en los planos, o se seguirán las siguientes especificaciones:

TABLA 5.1- 4

Espesores de recubrimiento para concreto colado en la obra con acero de refuerzo: (Tomada de la Especificación ACI 318-83).

	Espesor	
Concreto colado en contacto con el suelo y permanentemente expuesto a él	Varillas del No. 6 al No. 18	7.5 cm.
	Varillas del No. 5 y menores	5.0 cm.
Concreto no expuesto a la acción del clima ni en contacto con el suelo, losas, muros y nervaduras	Varillas del No. 14 y No. 18	4.0 cm.
	Varillas del No. 11 y menores	2.0 cm.
Concreto no expuesto a la acción del clima ni en contacto con el suelo, vigas	Refuerzo principal, anillos, estribos y espirales	4.0 cm.

y columnas

TABLA 5.1- 5

Recubrimiento que se le dará al acero de refuerzo para concreto prefabricado, fabricado en condiciones de control dentro de la planta. (Tomada de la Especificación ACI 318-83).

		Espesor
Concreto expuesto al suelo o a la acción del clima: Tablero para muros.	Varillas del No. 14 y No. 18	4.0 cm.
	Varillas del No. 11 y menores	2.0 cm.
Otros elementos	Varillas del No. 14 al No. 18	5.0 cm.
	Varillas del No. 6 al No. 11	4.0 cm.
	Varillas del No. 5 y menores	3.0 cm.
Concreto no expuesto a la acción del clima ni en contacto con el suelo: losas, muros y nervaduras	Varillas del No. 14 al No. 18	3.0 cm.
	Varillas del No. 11 y menores	1.5 cm.
Concreto no expuesto a la acción del clima ni en contacto con el suelo: vigas y columnas	Refuerzo principal	1.5 cm.
	Anillos, estribos y espirales	1.0 cm.
Cascarones y placas plegadas	Varillas del No. 6 y mayores	1.5 cm.
	Varillas del No. 5 y menores	1.0 cm.

Para el caso de que se requiera la utilización de concreto premezclado de otra planta, deberá contarse con la autorización de C.F.E., en base a la norma **ASTM C 94, Especificación para concreto premezclado**. El concreto deberá ser descargado en el lapso de media hora o antes de que el tambor haya dado 100 revoluciones, aparte de anexas una boleta con los siguientes datos:

- a) Tipo de concreto, señalando su resistencia a la compresión (f_c).
- b) Tipo de cemento.

- c) Volumen de concreto suministrado.
- d) Hora de inicio del mezclado con agua.
- e) Aditivos empleados, incluyéndose marcas y dosificación.
- f) Hora de descarga del concreto.
- g) Revenimiento del concreto.
- h) Tamaño máximo del agregado.
- i) Observaciones.

Las pruebas de calidad a efectuarse por parte de **C.F.E.**, serán las siguientes: para la verificación de la resistencia a la compresión, se acudirá a las normas **ASTM C 94** y **ASTM C 172**. Cuando se trate del muestreo, manejo, curado y transporte de los especímenes, se emplearán las especificaciones **ASTM C 31**, **ASTM C 39**, **ASTM C 42** y **ASTM C 617**. La temperatura para concretos de más de 100 cm. de espesor, deberá fluctuar entre los 24° y 27° C. Cuando el espesor de colado varíe de 60 cm. hasta 1.00 m., la temperatura deberá mantenerse entre los 28° y los 31° centígrados; siendo verificadas por las normas **ACI 305-R** y **ACI 306-R**.

III. Vibrado del concreto. Una vez vaciado el concreto, este deberá ser vibrado, con el propósito de lograr una mejor consistencia y consolidación del concreto, para recibir la siguiente capa. El buen funcionamiento de un vibrador se verificará con un vibrotack. El vibrado se tiene que hacer en los sitios en donde se pudiera dificultar su colocación y compactación, como en las esquinas de la cimbra, en los bordes, alrededor de elementos embebidos o en tramos muy estrechos. La inclusión del vibrador será en posición vertical y con un espaciamiento de 1.5 veces el diámetro de acción del vibrador, con respecto a la norma **ACI 309**. Para ello, se incluye la siguiente tabla:

TABLA 5.1- 6

TABLA No. 51 de la Especificación ACI 309

Diámetro del vibrador en pulgadas	De 3/4" a 1 1/2"	De 1 1/4" a 2 1/2"	De 2" a 3 1/2"	De 3" a 6"	De 5" a 7"
Radio de acción en cm.	De 8 a 15	De 13 a 25	De 18 a 36	De 30 a 51	De 40 a 61

Se deberá verificar el correcto funcionamiento del vibrador, de acuerdo a la Tabla No. 2, y que se introduzca rápidamente en el concreto, penetrando 15 cm. en la capa inferior, y retirándolo lentamente.

TABLA 5.1-7

Diámetro del vibrador en pulgadas	De 3/4" a 1 1/2"	De 1 1/4" a 2 1/2"	De 2" a 3 1/2"	De 3" a 6"	De 5" a 7"
Frecuencia mínima (R.P.H.)	10'000	9'000	8'000	7'000	5'400

IV. Colocación del concreto. Durante el colado del concreto este deberá de vibrarse. No se permitirán juntas verticales en el colado del fuste de la chimenea, y las juntas horizontales deberán de estar espaciadas a través de la altura de la chimenea. Las cimbras a utilizarse, no deberán de sobrepasar los 3.00 m. de altura. La altura de vaciado del concreto sobre la cimbra, no debe ser mayor a 1.50 m. El espesor de las capas de concreto entre vibrado y vibrado, tendrá una altura de 40 cm. como máximo.

V. Curado del concreto. Los retoques y terminaciones de la cara exterior del fuste, tendrán que realizarse inmediatamente que se haya retirado la cimbra. Una vez realizado este proceso, ambas caras del fuste se recubrirán con un compuesto de resina que cumpla con la especificación *ASTM C 309, tipo 1*. De ninguna forma, se admitirán compuestos a base de cera. El recubrimiento empleado, deberá tener una coloración temporal. En dado caso que el concreto deba de llevar algún recubrimiento determinado, el compuesto del curado tendrá que ser compatible con el material del recubrimiento.

VI. Coeficiente de dilatación lineal del concreto. Para cuando se haga uso de concretos de densidad normal y los rangos de temperatura fluctúen entre los 10° y los 80° C, los coeficientes de dilatación lineal variarán entre 10 y 12×10^{-6} . En circunstancias en que no se conozcan las dimensiones de los agregados, se hará uso del último valor.

VII. Conductividad térmica del concreto. Los valores de los coeficientes de conductividad térmica para los concretos de peso volumétrico normal ($\gamma_c = 2.2 \text{ ton/m}^3$), varían dentro de un rango bastante extenso: sus valores mínimos pueden fluctuar de 1.1 a 3 kcal/m hora °C, hasta alcanzar valores de 10° a 60° C. Los coeficientes mencionados anteriormente se ven afectados directamente por las características del propio concreto: cantidad de agregados y cementantes, coeficiente de compactación, dosificación de la mezcla y el contenido de humedad, (como referencia, se puede consultar la Tabla I.4. del Anexo I). Como dato adicional, se recomienda emplear un concreto con contenido de humedad del 5%, para la construcción del fuste, y utilizar un concreto con menos del 2% de contenido de humedad, para

revestimientos y/o aislamientos de la chimenea (*Manual de Diseño de Obras Civiles, C.F.E.*).

VIII. Efectos de la temperatura sobre las propiedades mecánicas del concreto.

Algunas de las propiedades mecánicas que caracterizan al concreto, como lo son su resistencia a la compresión, el módulo de Young, resistencia a la flexo-compresión, etc., se podrían ver seriamente afectadas, en función del agua libre que pudiera escapar de los gases emanados de los generadores. Se conoce como agua libre, al agua que no se incorpora o que no se combina durante el proceso de vaporización de los gases. Cuando esta agua puede escapar, la resistencia del concreto tanto a la compresión como a la flexión, se ve favorecida. En caso de que el agua se viera retenida, existiría la posibilidad de que la resistencia del concreto se disminuyera considerablemente. Para cualquiera de los casos que se llegara a presentar, el módulo de Young decrece cuando la temperatura se incrementa. Estas consideraciones no llegan a repercutir de manera importante en las secciones del fuste, ya que su espesor es muy pequeño. Por otro lado, la liberación de agua sí es muy importante en el concreto de la cimentación, ya que esta por ser de un gran espesor, deja escapar el agua de una manera más lenta. Bajo este criterio, se debe de proveer a las cimentaciones de una mejor protección en contra del calor emitido por los gases.

5.1.1.5. Acero de refuerzo.

El acero de refuerzo que se utilice para el armado del fuste de la chimenea, deberá ser corrugado y que cumpla con las siguientes especificaciones:

- a) **Especificaciones para varillas corrugadas y lisas de acero de lingote para refuerzo del concreto (ASTM A 615).**
- b) **Especificaciones para varillas corrugadas y lisas de acero de riel para refuerzo del concreto (ASTM A 616).**
- c) **Especificaciones para varillas corrugadas y lisas de acero de eje para refuerzo del concreto (ASTM A 617).**
- d) **Especificaciones para varillas corrugadas de acero de baja aleación para refuerzo del concreto (ASTM A 706).**

Cada embarque de acero, deberá ser revisado y estibarse por separado de los otros lotes verificados previamente. El acero deberá estar libre de oxidación, grasas, agrietamientos, escamas, o deformaciones. La varilla debe de almacenarse clasificándola por diámetros y grados, colocándose sobre plataformas, polines o cualquier otro soporte, protegiéndola debidamente contra oxidaciones o alguna clase de deterioro. El acero que se utilice como refuerzo anular en la chimenea, deberá de

colocarse alrededor del refuerzo vertical, en su parte exterior, y deberá de ir amarrado o soldado, en tramos no mayores a 60 cm. de separación; tanto en dirección vertical como horizontal. El recubrimiento libre de concreto que cubrirá al acero de refuerzo, deberá de tener un espesor mínimo de 3 cm. y un espesor de 6 cm. como máximo. Debe de evitarse que el traslape de las varillas de refuerzo en dirección vertical, queden todas en un sólo plano; además, dicho traslape no deberá de exceder de una tercera parte en cada sección.

I. Doblado de la varilla. Con el propósito de darle al acero la forma que establezcan los planos de diseño, las varillas se deberán de doblar en frío, sea cual sea su diámetro. Cuando **C.F.E.** lo considere pertinente, las varillas podrán doblarse en caliente, y para tal caso, la temperatura deberá fluctuar entre los 600° y 650° centígrados haciendo uso de crayones térmicos o de cualquier otro procedimiento similar. El enfriamiento se tendrá que dar gradualmente por medio de la pérdida de calor, nunca se realizará el enfriamiento con el empleo de agua o de aire. Cuando se calienten varillas, estas nunca deberán de haber sido estiradas o torcidas en frío previamente.

II. Ganchos y dobleces. Tanto los ganchos, anclajes, traslapes y dobleces, se sujetarán a las disposiciones del **Reglamento de Estructuras de Concreto Reforzado, ACI 318**, a no ser que **C.F.E.** diera otra indicación.

III. Refuerzo interior. Aunado a las varillas de refuerzo que se obtuvieron del diseño estructural, todas las secciones del fuste con espesores superiores a los 45 cm. llevarán en su interior un refuerzo vertical de varillas del #4, a 60 cm. de distancia entre centros, y un refuerzo de anillos con varillas del #4, distanciados a 30 cm. entre centros.

IV. Juntas de acero de refuerzo. Todas las juntas en el acero de refuerzo, se harán por medio de traslapes con varillas del No. 10 o diámetros inferiores, salvo que existan indicaciones en los planos de diseño, los cuales serán por medio de conectores o empalmes soldados. Los empalmes o traslapes, deberán hacerse en los lugares que establezcan los planos de diseño y se realizarán conforme al **Reglamento ACI 318**. Cuando se señalen juntas soldadas en las varillas, estas se harán acorde a las normas de la **AWS-D12.1, (American Welding Society)**; de forma que su capacidad de resistir el esfuerzo a la tensión, sea igual al 125% de la resistencia de fluencia especificada para el acero de refuerzo del proyecto. Estas resistencias se verificarán mediante las pruebas radiográficas y físicas que **C.F.E.** solicite. En caso de instalar juntas mecánicas en varillas, estas deberán desarrollar en tensión o compresión, por lo menos un 125% de la resistencia especificada a la fluencia de la varilla. Un traslape soldado por completo, tiene que estar con las varillas soldadas a tope y alcanzar un 125% de la resistencia a la fluencia. Las conexiones totalmente mecánicas deben alcanzar también un 125% de la resistencia a tensión especificada en la varilla. Los traslapes en una misma sección, no podrán

exceder de un 33%, a menos que los planos así lo señalen. En paquetes de varias varillas, los traslapes no deberán de coincidir en un mismo plano. Una vez finalizado el armado, **C.F.E.** procederá a efectuar la revisión correspondiente.

V. Malla electrosoldada. Se utilizará exclusivamente en losas de piso, para cubrir la especificación de refuerzo por temperatura. Las mallas de alambre electrosoldadas serán suministradas por el contratista y cumplirán con el calibre y separación de alambre liso o corrugados, dependiendo de las indicaciones de los planos. A las especificaciones a las que hay que recurrir, son las siguientes: **Specification for weld steel wire fabric for concrete reinforcement, ASTM A 497** y la **Especificación ASTM A 185**. El área de tendido de la malla, deberá de estar completamente limpia.

5.1.1.6. Agua.

El agua que se emplea para la elaboración del concreto, deberá estar libre de materias orgánicas, alcalis y otras impurezas que puedan reducir la resistencia y durabilidad del concreto ó mortero. Se dará una especial atención de que el agua no contenga aceites o grasas. De acuerdo con lo establecido en el párrafo anterior, se deberán de cumplir las siguientes especificaciones:

TABLA 5.1- 8

Componente químico	Concentración máxima (partes por millón)
Sulfatos ($\text{Na}_2 \text{SO}_4$)	250 P.P.M.
Cloruros (Na Cl)	250 P.P.M.
Carbonatos ($\text{Na}_2 \text{CO}_3$)	500 P.P.M.
Bicarbonatos (NaH CO_3)	500 P.P.M.
Materia orgánica (oxígeno consumido en medio ácido)	50 P.P.M.
Turbiedad	1500 P.P.M.

En casos excepcionales (cuando no se cuente con las facilidades para efectuar el análisis del agua, o cuando por motivos económicos sea incosteable el traer agua de otra fuente), se deberán hacer pruebas con cilindros de concreto elaborados con los mismos agregados, cemento, proporciones, mezclados, curado, etc. e incluyendo el agua de la que no se tenga la certeza de su calidad y comparando los resultados con otros cilindros, hechos bajo los mismos procedimientos, pero con agua que sí cumpla con el control de calidad establecido. Al hacer la comparación de ambas pruebas, la primera no deberá de tener una

resistencia menor al 90% de la resistencia alcanzada por los cilindros fabricados con el agua limpia.

5.1.1.7. *Cimbra.*

Cimbra es un conjunto de obra falsa y moldes, que se emplean para la construcción de elementos de concreto. El diseño de la cimbra, correrá a cargo del contratista, pero el tipo, tamaño, calidad y resistencia de los materiales con que se construya, será revisado y autorizado por *C.F.E.* de acuerdo a la norma **ACI 347**. El contratista deberá instalar cuando menos 2 andamios para tener acceso a los pisos superiores, su ancho mínimo será de 80 cm. y se armará a base de travesaños y pasamanos. Para cimbras de acabado aparente, se construirá una base de madera contrachapada de 16 mm. (5/8") de espesor mínimo, fibra de vidrio, metal u otro material propuesto por el contratista y aprobado por *C.F.E.* A la parte en contacto con el concreto de los moldes de madera deberá recubrirse con resina, aceite mineral u otro material, previamente autorizado por *C.F.E.*

I. Diseño de la cimbra. Para el diseño de la cimbra, se deberán tomar en cuenta los siguientes factores:

- a) Velocidad y procedimiento de colocación, incluyendo vibrado.
- b) Cargas, incluyendo carga viva, muerta, lateral e impacto.
- c) Materiales y sus esfuerzos permisibles de trabajo.
- d) Contraflecha, excentricidad y deflexiones.
- e) Contraventeo horizontal y diagonal.
- f) Traslape de puntales.
- g) Desplante adecuado de la obra falsa.
- h) Acabados.
- i) Tolerancias.

Para cimbras comunes, se utilizará como madera de contacto, triplay, duela o similar. En cimbras aparentes, se empleará fibra de vidrio, metal u otro material propuesto por el contratista, previamente autorizado por *C.F.E.* El concreto no presentará salientes, rebabas o desviaciones en las juntas de concreto, cualquier tipo de irregularidad no deberá exceder a los 3 mm.

II. Colocación de la cimbra. Al hacer el armado de la cimbra, se deberán acatar las siguientes recomendaciones:

- a) La cimbra se ajustará a la forma, líneas, niveles y calidad especificada en los planos.
- b) En cimbras aparentes se requiere un acabado liso y uniforme, exento de marcas.

- c) Se usarán tableros completos de inicio al nivel de terminado, colocando chaffanes en las juntas horizontales de los tableros.
- d) Los moldes deberán ser herméticos para evitar la fuga de la lechada y de los agregados finos durante el vaciado, vibrado y compactado de la mezcla. Los moldes deben de humedecerse antes de realizar el vaciado del concreto.
- e) Tanto pies derechos como puntales deben anclarse para evitar cualquier tipo de movimiento durante el vaciado del concreto.
- f) La obra falsa deberá estar contraventeada y unida firmemente para mantener su posición y forma durante el colado. Asimismo, se verificarán elevaciones, contraflechas y verticalidad de la cimbra.
- g) Debe de asegurarse el contratista de que no queden ahogados los separadores de la cimbra.

III. Limpieza de la cimbra. En cuanto a la limpieza de la cimbra, se deben de verificar las siguientes especificaciones:

- a) Previamente a la colocación de la cimbra, se aplicará una capa de aceite mineral o de cualquier otro material aprobado por **C.F.E.**, a la parte de la cimbra en contacto con el concreto, para evitar que este se adhiera durante el colado.
- b) Al iniciar el colado, la cimbra deberá estar limpia y exenta de toda partícula extraña adherida a ella. Cuando se considere necesario, se dejarán aberturas en la cimbra, en la base de las columnas y de miembros peraltados para facilitar la limpieza e inspección, tanto de la cimbra como del concreto. La limpieza de los materiales, así como del proceso constructivo, serán verificados por **C.F.E.**

IV. Descimbrado. El contratista no podrá iniciar con el retiro de la cimbra, si no cuenta con la autorización de **C.F.E.** Los elementos de apoyo deberán permanecer en su sitio, hasta que se haya comprobado que la estructura puede soportar, tanto su peso propio como las sobrecargas que se le apliquen. Esta prueba se deberá efectuar, por medio de un análisis de esfuerzos de la estructura, complementado por ensayos a compresión de especímenes curados en obra, como lo especifica el **Reglamento ACI 318**. Al retirar la cimbra, se debe verificar que no se haga daño al concreto; por tal motivo, se deberá de aceitar perfectamente la cimbra antes de volverla a utilizar. Cuando sea necesario retirar la cimbra antes del tiempo necesario, los períodos mínimos que se tendrán que respetar, son los siguientes:

TABLA 5.1- 9

<i>Elementos estructurales</i>	<i>Período mínimo para el descimbrado</i>
Vigas	14 días
Losas	14 días
Muros	1 día
Columnas	1 día
Laterales para vigas	1 día

Quando a los miembros se les apliquen cargas adicionales al peso propio, deberán permanecer apuntalados hasta que se verifique que han adquirido su resistencia de diseño.

5.1.1.8. Acero para los tiros.

El acero para los tiros, a excepción del tramo superior, deberá de cumplir con la **NOM B-254**. En la parte interior y exterior del tiro, se debe recubrir con una capa de primario cromado de zinc alquidalóxico P2, de acuerdo a la norma **CFE D8500-02**. La parte superior del tiro, será de acero inoxidable de acuerdo a la norma **ASTM A-240, tipo 316**, considerando 1.5 veces el diámetro del tiro, desde la punta hacia abajo. La estructura para soporte del tiro, guías, apoyos laterales y atiesadores, deben ser de acero conforme a las normas **NOM B-254** y **NOM J-151**, cuando la longitud de los perfiles sea menor de 9 m. Para longitudes mayores a esta, se debe recubrir conforme al sistema No. 1 de la **Especificación CFE D8500-01**, aplicando un recubrimiento primario inorgánico de zinc postcurado CFE P10. Además, a las partes no protegidas por el aislamiento, se les deberá recubrir con un acabado epoxi-altos sólidos CFE A3, según la **Especificación CFE D8500-02**. Las juntas de expansión, deberán de ser de elastomero de flúor, vitón o algún producto similar.

5.1.1.9. Acero de usos múltiples.

El acero para las jaulas, escaleras, soportes, marcos y misceláneos, debe de cumplir con la norma **NOM B-254**, a excepción de que se especificara otra cosa. Este acero deberá llevar un baño de galvanizado por inmersión en caliente, conforme a la especificación **NOM J-151**. Las plataformas exteriores, deberán ser de acero inoxidable, incluyendo elementos estructurales de soporte, conforme a **ASTM A-276, tipo 304**, las placas y láminas con la **ASTM F-593** y las tuercas de acuerdo a **ASTM F-594**. Para fijar los conduits y soportes del elevador, se hará uso de taquetes expansivos galvanizados. Los electrodos de soldadura, deben ser compatibles con los materiales previamente especificados. Dichos electrodos se calificarán de acuerdo a la norma **AWS D1.1**. Los electrodos que se hayan humedecido o dañado, de ninguna manera deberán de utilizarse. El contratista se compromete a entregar

copias de las pruebas físico-químicas realizadas al acero utilizado en la obra. Las pruebas físicas deben hacerse en 3 probetas, extraídas de cada rolado del acero.

5.1.2. PROPIEDADES TÉRMICAS DE LOS MATERIALES.

5.1.2.1. Coeficientes de conductividad térmica C_b y C_c .

Para la obtención de los coeficientes de conductividad térmica de los materiales utilizados en la estructura de la chimenea, se emplearán los valores de la Tabla I.4. del presente trabajo.

5.1.2.2. Coeficientes de transmisión superficial del calor y de la radiación.

El coeficiente K_1 se determinará de la gráfica correspondiente.

El coeficiente K_2 se tomará como $60 \text{ kcal/m}^2 \text{ hora } ^\circ\text{C}$.

Los coeficientes K_r y K_s se calcularán con las fórmulas:

$$K_r = 0.07 T \text{ kcal/m}^2 \text{ hora } ^\circ\text{C} \quad \boxed{\text{(Ec. 5-1)}}$$

$$K_s = 0.06 T \text{ kcal/m}^2 \text{ hora } ^\circ\text{C} \quad \boxed{\text{(Ec. 5-2)}}$$

Para el valor r_q , se tomará igual a 0.5 siempre que el espacio libre entre el recubrimiento y el fuste, sea de por lo menos 0.10 m. en toda la altura del revestimiento y que el fuste esté provisto de orificios de entrada de aire, al nivel de la base del revestimiento. El área total de los mencionados orificios será, en m^2 , el equivalente a 0.2 veces el diámetro del fuste en m. en el extremo superior del revestimiento. Además, las obstrucciones locales al flujo en el espacio entre el revestimiento y el fuste, deben ser tales que en cualquier sección horizontal quede libre un área disponible para el flujo, con una dimensión por lo menos, igual al área de los orificios.

5.1.3. ESPECIFICACIONES PARA EL DISEÑO DEL FUSTE.

5.1.3.1. Espesor mínimo del fuste.

El espesor del fuste en cualquier sección menor a los 6 m. de diámetro interior, deberá ser de 15 cm. como mínimo. Por cada m. de aumento en el diámetro

interior del fuste por encima de los 6 m. se tendrá que incrementar 1 cm. al espesor del fuste.

5.1.3.2. *Refuerzo adicional en orificios.*

Además de los refuerzos que lleva la chimenea en todo el fuste, se requiere de una serie de refuerzos adicionales en los bordes y esquinas de orificios, de acuerdo a los puntos 5.1.3.3., 5.1.3.4. y 5.1.3.5., que se mencionan a continuación. Los refuerzos especiales se colocarán cerca de la superficie exterior del fuste, lo más próximos posibles a los bordes de los orificios, siempre y cuando se cumplan con las especificaciones en cuanto a recubrimientos y distancia entre varillas; además, podrán extenderse de manera que se desarrolle plenamente el anclaje por adherencia.

5.1.3.3. *Refuerzos verticales en orificios.*

Se deben de colocar siempre refuerzos verticales adicionales en los bordes verticales de un orificio. A cada lado del orificio, el área total de dicho refuerzo será por lo menos, igual a la mitad del área del refuerzo vertical interrumpido por la abertura.

5.1.3.4. *Refuerzos horizontales en orificios.*

Para cada orificio se deberá de colocar un refuerzo adicional en los bordes superior e inferior, cada uno de los cuales deberá tener un área por lo menos igual a la mitad del refuerzo circunferencial interrumpido por la abertura, con la especificación de que el área del acero de refuerzo, tanto en el borde superior como inferior, no será menor al valor asignado por la siguiente fórmula:

$$A_s(\text{cm}^2) = 0.175F'_c * t * S$$

(Ec. 5-3)

Donde:

f'_c = Resistencia a la compresión del concreto, en kg/cm^2

t = Espesor de la pared del fuste, en m.

S = Dimensión horizontal del orificio, en m.

Cabe mencionar que el valor de A_s se considera para acero de grado 30, para acero de límite de fluencia menor a los 30 kg/cm^2 , se debe disminuir el valor de A_s en proporción a la disminución del límite de fluencia, pero nunca en más de un 20%.

La mitad del refuerzo horizontal adicional se colocará abarcando toda la circunferencia del fuste y la otra mitad se colocará a cada lado de la abertura, de modo que quede anclado por adherencia. Las varillas de refuerzo se colocarán a una altura que no exceda el espesor del fuste.

5.1.3.5. Refuerzos en esquinas de orificios.

Colocadas en las esquinas de los orificios, se colocarán barras diagonales, con un área en cm^2 , no menor a la mitad del espesor del fuste.

5.1.3.6. Orificios de construcción.

Si se presentara el caso de que por razones constructivas se requiriera de orificios temporales de acceso, el diseño de la sección correspondiente se hará conforme al criterio seleccionado para la construcción de orificios definitivos, incluyendo las determinaciones acerca de los refuerzos perimetrales en los bordes.

5.1.3.7. Ménsulas.

En caso de que el revestimiento de la chimenea se encontrara soportado por medio de ménsulas coladas junto con el fuste, dichas ménsulas deberán llevar ranuras verticales en toda su altura, separadas entre una y otra, no más de 1 m. con el objeto de evitar a toda costa el origen de esfuerzos térmicos debidos a variaciones drásticas de sección en la chimenea. El diseño de las ménsulas se considerará para resistir las cargas muertas del peso propio de la estructura y del revestimiento, así como la excentricidad de la carga del fuste se tomará en cuenta en el diseño del fuste.

5.1.3.8. Refuerzo adicional en la punta.

El refuerzo circunferencial que se añade en las cercanías de la punta de la chimenea, será del doble el que se obtenga del cálculo. Este incremento del refuerzo se colocará en un segmento de chimenea de longitud de $2.4 \sqrt{rt}$ medido a partir del extremo superior de la estructura.

5.1.3.9. Construcción del fuste.

La medición, composición, mezclado y colocado del concreto y materiales, deben ajustarse a las normas **ACI 304, 305, 306 y 211.1**. Estas operaciones deben estar sujetas a la aprobación de **C.F.E.** El trabajo de cimbrado, deberá ajustarse a la norma **ACI 347**. Los troqueles para separar la cimbra no deben ser permitidos en las caras que forman la parte interior y exterior del fuste. El acabado de la cara exterior del fuste debe ser natural. Las partes salientes, protuberancias o rugosidades, deben ser eliminadas. El curado se realizará conforme a la norma **ACI 308**. La mezcla para

la realización del curado, deberá ser compatible con lo utilizado en la cimbra interior y exterior. Su aplicación, se efectuará de acuerdo a las especificaciones de C.F.E. El desplazamiento de la chimenea con respecto a la vertical no debe exceder de 2.5 cm. en 15 m. y el desplazamiento total desde la cimentación no debe exceder de 0.002 h, siendo h, la altura total de la chimenea. La variación de espesor de la pared de la chimenea, no debe exceder de ± 1.27 cm. para paredes de espesor superior a los 20 cm. Se deben de pintar 15 m. desde la parte superior del fuste hacia abajo, con un recubrimiento de hule clorado CFE A-11 según la **Especificación CFE D8500-02**, en bandas de 2.50 m. de ancho de color rojo y blanco, de forma alterna.

5.1.3.10. Tolerancias para estructuras de concreto reforzado.

Las irregularidades permisibles en las superficies estructurales de concreto, deberán de verificarse bajo las siguientes especificaciones:

TABLA 5.1- 10

Variaciones en la verticalidad. (Tomada de la especificación ACI 318-83)		Tolerancia.
En las líneas y superficies de columnas, pilas, muros y aristas.	En 3 m.	6.3 mm.
	En cualquier entrepiso o en 6 m. máximo	9.5 mm.
	En 12 m. o más	19.1 mm.
Para columnas de esquina expuesta, ranuras de juntas de control y otras líneas principales.	En cualquier claro o en 6 m. máximo	6.3 mm.
	En 12 m. o más	12.7 mm.

TABLA 5.1- 11

Variación en el espesor establecido. (Tomada de la Especificación ACI 318-83)		Tolerancia (mm.).
En cualquier punto, en menos	2.5% o en 6.3 mm. (el que resulte mayor)	
En cualquier punto, en más	5% o 12.7 mm. (el que resulte mayor)	
Variación de las dimensiones interiores		0.50%

5.1.3.11. Estructuras de concreto masivo.

TABLA 5.1- 12

Tolerancia de espesor para todas las estructuras en mm. (Tomada de la Especificación ACI 318-83)	
Variación del contorno lineal construido respecto a la posición establecida en planta:	En 12 m. 19.1 mm.
	En 6 m. 12.7 mm.
Variación de dimensiones de aspectos individuales de la estructura respecto a las posiciones establecidas:	En construcciones enterradas El doble de la cantidad siguiente
	En 24 m. o más 31.7 mm.
Variación del nivel o de los desniveles indicados en los planos en losas, vigas, plafones, ranuras de juntas horizontales y aristas visibles.	En construcción enterrada El doble de las cantidades siguientes
	En 9 m. o más 12.7 mm.
	En 3 m. 6.3 mm.

5.1.4. ACCESORIOS.

5.1.4.1. *Protección temporal contra descargas eléctricas.*

La protección temporal contra descargas eléctricas, deberá de instalarse durante todo el tiempo que dure la obra en construcción. Todo el acero de refuerzo deberá de quedar conectado a 2 terminales de tierra permanentes. El refuerzo vertical que queda al descubierto durante las etapas de construcción, servirá como terminales aéreas. Cuando se termine el colado del fuste, y se proceda la construcción de la losa de cubierta, se deberán de montar barras provisionales que funcionen como terminales aéreas. Las barras temporales, tendrán que permanecer

hasta que se termine la colocación del revestimiento y el colado de la losa de cubierta. Una vez terminado este proceso, se instalarán las terminales aéreas permanentes.

5.1.4.2. *Protección permanente contra descargas eléctricas.*

Una vez finalizada la construcción de la losa, se deberán instalar 2 conductores de bajada conectados eléctricamente a las terminales de tierra y a las terminales aéreas permanentes. El acero de refuerzo deberá conectarse eléctricamente en la punta de la chimenea a los conductores de bajada en 2 puntos diametralmente opuestos. Adicionalmente, se realizarán conexiones en secciones intermedias del fuste. Las escaleras se tienen que conectar de ambos extremos, superior e inferior, a los conductores de bajada. Cualquier interrupción de las escaleras se tendrá que conectar eléctricamente, para transmitir la electricidad de arriba hacia abajo.

5.1.4.3. *Escaleras y plataformas.*

Las escaleras y plataformas de acceso de la chimenea, así como todos los elementos de fijación que se utilicen, deben ser construídos a base de materiales altamente resistentes a la corrosión ocasionada por la acción de los gases emitidos de la incineración de los combustibles.

5.2. CHIMENEAS DE ACERO.

5.2.1. ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES.

5.2.1.1. *Generalidades.*

Para el caso de que la chimenea que se esté planeando proyectar sea de acero, se debe inspeccionar que se utilice un material soldable, con una temperatura de transición compatible con las temperaturas a que esté expuesta la estructura. Dicha temperatura de transición, es aquella cuando el tipo de falla pasa de dúctil a frágil, por efecto de bajas temperaturas. Para chimeneas cimentadas en climas templados, el material que satisface plenamente los requerimientos térmicos, es el acero **ASTM A-36**. En climas extremadamente fríos, se emplea el acero **ASTM A-131, grado B**, para espesores de pared de fuste que no excedan los 25.4 mm., (1 pulgada). En los manuales de especificaciones de **C.F.E.**, se establecen ciertos criterios para el empleo de distintos tipos de aceros, siendo estos los más utilizados:

TABLA 5.2- 1

Tipo de acero	Tipo de clima
ASTM A-36	Templado
ASTM A-131	Frío
ASTM A-516	Extremadamente frío

Además de las normas establecidas para los diferentes tipos de clima, existen también otras que se emplean dependiendo del procedimiento constructivo.

TABLA 5.2- 2

Tipo de acero	Tipo de proceso constructivo
ASTM C-330	Cuando se utilizan agregados ligeros
ACI 905	Especificación para cuando la aplicación del mortero es por medios neumáticos
ASTM A-185	Malla de acero con aplicación de soldadura en fábrica
BS 4076 (1978)	Especificación para chimeneas de acero, utilizada en Gran Bretaña
C-2.11	Norma de diseño para chimeneas de acero o de concreto reforzado (C.F.E.)

Debido al cuidado que se debe guardar para proteger a la chimenea contra la corrosión, sobre todo si esta es de acero, en el proyecto se tienen que resaltar los detalles para su óptima inspección y mantenimiento. Los revestimientos de acero (*steel liners*), en chimeneas de concreto reforzado, deben protegerse con un aislamiento de lana mineral. En lo referente a la desviación máxima permitida para chimeneas autoportantes, con respecto al eje vertical de referencia, por ningún motivo se podrá permitir una desviación mayor a los 25 mm. en ninguna sección de la estructura, para una altura máxima de 25 m. Si se trata de estructuras superiores a los 25 m. de altura, dicha desviación no podrá exceder de un milésimo de la altura total de la chimenea.

5.2.2. DIMENSIONES MÍNIMAS DEL FUSTE.

Para la determinación del espesor del fuste, se deben tener en consideración una flecha y una relación de esfuerzos admisibles, además de un espesor adicional de 1.6 mm. (1/16") para chimeneas con recubrimiento. Cuando se trate de chimeneas sin recubrimiento, el espesor adicional debe ser de 3.2 mm. (1/8"). En estas mismas chimeneas, el espesor de la pared de acero no podrá ser inferior a 1/300 del diámetro de la pared exterior del fuste. Si se llegaran a utilizar atiesadores circunferenciales, el espesor podrá disminuirse hasta 1/500 del diámetro externo. La distancia vertical entre estos atiesadores, se determina por medio de la siguiente fórmula:

$$L = \frac{57.6 * t * d}{q}$$

(Ec. 5-4)

Donde:

L = Distancia vertical entre 2 atiesadores (cm.).

t = Espesor del fuste de la chimenea (cm.).

d = Diámetro externo de la chimenea (cm.).

q = Presión estática del viento (kg/m^2).

Además se debe considerar la relación:

$$S = \frac{(q * L * d)}{3.84 * 10^6}$$

(Ec. 5-5)

Donde:

S = Módulo de sección del atiesador, incluyendo un espesor de la pared de acero equivalente a 32 t (cm^3).

Si la chimenea llevara recubrimiento, el espesor no podrá ser inferior a 1/500 del diámetro externo del fuste. Para cuando se necesite el empleo de bridas para hacer la unión de 2 tramos del fuste, se debe cerciorar que su sección no tenga un diámetro inferior a los 6 mm. En la utilización de perfiles laminados en caliente para estructuras portantes exteriores y expuestas a la intemperie, se espesor mínimo será

de 8 mm. Los perfiles que no estén expuestos a la intemperie y correspondan a estructuras auxiliares, como barandales, escaleras, plataformas, etc.; podrán tener un espesor mínimo de 6 mm. Si se habilitan estructuras huecas cerradas por los extremos, y están situadas en la parte exterior de la chimenea, y están expuestas a la intemperie y otros efectos corrosivos, su espesor mínimo será de 4 mm. Para casos completamente contrarios, a los expuestos anteriormente, el espesor podrá disminuir hasta los 3 mm.

5.2.3. REVESTIMIENTOS.

Un tipo de revestimiento que generalmente ofrece una protección bastante eficiente, así como satisfactoria, es el de concreto lanzado. Este se caracteriza porque se compone de arena, lleva un alto contenido de sílice y se complementa con aluminato de calcio. Además, es de vital importancia que se realice un correcto curado del mortero, para obtener un resultado óptimo. Si los gases emitidos por la chimenea son altamente corrosivos, el recubrimiento más efectivo es el de tabique con cemento de aluminato de calcio, o también de silicato de sodio.

5.2.4. DETALLES ESPECIALES.

El diseño que usualmente se emplea en chimeneas de acero autoportantes, es el de una forma acampanada a partir de la altura de entrada a los ductos hacia el nivel de piso terminado (N.P.T.). Esta forma de la estructura disminuye considerablemente las fuerzas que se pudieran producir y evitaría los problemas de reforzar el área de entrada de los ductos. Cuando se efectúe la conexión de la parte acampanada del fuste con la sección recta de la chimenea, se debe hacer uso de un rigidizador anular. Los orificios de los ductos de entrada, deben llevar un refuerzo vertical con un área por lo menos igual al área transversal de material desplazado a causa del orificio del ducto. Cualquier clase de abertura que pudiera presentarse en el fuste (cámaras de humo, ductos de ventilación, registros, etc.), deberá ser reforzada por medio de placas de acero dispuestas de tal forma, que no puedan producir una concentración de esfuerzos considerable. El módulo de la sección horizontal del orificio, no podrá ser menor que el módulo de sección horizontal que se localiza debajo del hueco. En los orificios hechos al fuste de la chimenea, se podrán efectuar modificaciones en sus esquinas, redondeándolas de forma que el radio de curvatura no sea inferior a 10 veces el espesor de la placa. Para realizar los anclajes de una chimenea cilíndrica, se recomienda que estos vayan colocados en pares, o sea, uno a cada lado de la pared del fuste.

Si se tratara de chimeneas de sección variable, las anclas deberán disponerse lo más cerca posible de la pared. Debe existir siempre un rigidizador anular continuo;

el cual, su borde superior no deberá estar separado más de $1/6$ de la distancia diametral del fuste. Las anclas deben diseñarse para soportar las fuerzas accidentales producidas por la excentricidad de la carga. Para determinar la distancia de separación entre los centros de las bridas, esta no podrá exceder de 5 veces la dimensión de su diámetro nominal, ni más de 150 mm. Al diseñar los tipos de conexiones, se deberá tomar en consideración la excentricidad de los pernos. Los fustes de las chimeneas deben estar recubiertos, sobre todo si es posible que se presente una condensación de los gases expulsados por la chimenea. En la parte más alta de la chimenea, debe existir un anillo rigidizador, que podrá tener además la función de riel para el carrito del pintor. Si la chimenea tuviera que pasar por la cubierta o atravesar por un edificio, se debe tener en consideración cierto espacio de holgura que permita el libre movimiento de esta y disminuir la transferencia de calor. En los casos de las chimeneas atirantadas, los puntos de fijación de los tirantes deben localizarse a una distancia de por lo menos 3 m. de la salida de los gases. Deben existir por lo menos 3 tirantes por cada sección del fuste que se desee rigidizar. La proyección de los cables en planta, debe ser de forma radial y el ángulo de proyección de 2 cables adyacentes, no deberá ser superior a los 130° . La proyección vertical de los cables con el eje vertical, no podrá ser inferior a los 30° de inclinación. Su tensión mostrada después de su montaje, deberá tener una variación de entre el 15% y el 30% de la tensión máxima calculada por la acción del viento.

5.2.5. CIMENTACIONES.

En los cuidados que se le aplican a las chimeneas, se debe instalar una protección especial a las partes de la chimenea que esté expuesta a la acción de los gases. Si el revestimiento aplicado no es el adecuado en la superficie de la cimentación o en el piso, se podrían presentar altas temperaturas, lo cual ocasionaría agrietamientos en el piso o estructura de la cimentación. Para proveer a la cimentación de una protección adecuada, se puede emplear un aislamiento ventilado con tabiques huecos cubiertos con ladrillos aislantes o con tabiques refractarios, dependiendo de la temperatura de los gases. Los orificios de los tabiques, deberán tener una salida a la atmósfera por medio de conductos de aire, si es que la chimenea lleva un revestimiento; o por otra parte, si la chimenea carece de revestimiento, se deberán dejar aberturas en el cuerpo del fuste. Otro aspecto que se debe de tomar muy en cuenta, es que si la cimentación es de tipo superficial, como las zapatas poligonales o circulares, se debe seleccionar cuidadosamente el diseño, para que esta no se separe del suelo sobre el que va a ir construida. O sea, que la resultante de las acciones de carga muerta (como el peso propio de la cimentación y del relleno superficial que existiera), y de las fuerzas horizontales de viento y sismo, deben incidir en el núcleo central de la superficie de contacto. Si la cimentación de la estructura se conformara por pilotes de concreto, se debe tener principal cuidado de que en ellos no se presenten fuerzas de tensión.

5.3. CHIMENEAS EN GENERAL.

5.3.1. MATERIALES.

Para llevar a cabo la construcción tanto de la chimenea, así como de sus tiros, es necesario que se procure el cumplimiento de una serie de normas, que tienen como propósito, el asegurar un nivel óptimo de calidad, durante la construcción de la chimenea. Las especificaciones a que se hace mención, son de la institución estadounidense *ASTM (American Society for Testing and Materials)*.

5.3.2. FUSTE.

Durante el período de construcción de las chimeneas para las centrales termoeléctricas, se deben de seguir una serie de procedimientos establecidos para el proceso de ejecución de las actividades relativas a la construcción del fuste de concreto de la chimenea. El objetivo de este procedimiento es el de cubrir todas las actividades correspondientes al deslizado y colado del fuste. Primeramente, se deberá de establecer qué tipo de estructura se va a supervisar, que en este caso, se describirá de la siguiente manera:

I. Definición:

Es una estructura de concreto armado de forma cilíndrica, que alojará los tiros que desalojan los gases de los combustibles quemados durante la combustión. Estará provista de 24 huecos para ventilación, distribuidos en los niveles +1.85 m, +18.50 m, +39.00 m, +59.50 m, +87.60 m y en el nivel +115.65 m. correspondiendo 4 orificios por cada nivel. Las dimensiones de los huecos para ventilación deberán ser de 0.80 m. de ancho, por 1.25 m. de altura. Los orificios de señalización deberán de tener dimensiones de 0.50 m. por 0.50 m. En el nivel +86.10 m, se contará con 2 huecos para puertas de acceso a las plataformas exteriores, además de un orificio para la puerta de acceso al monorriel, siendo las dimensiones de estos huecos de 0.80 m. por 2.10 m. Para poder tener acceso a los tiros, se dispondrá de un hueco localizado en la cara oeste del fuste, para poder instalar una puerta de 3.00 m. de ancho y de 3.10 m. de alto, iniciando en el nivel +0.00, llegando hasta el nivel +3.10 m. Del lado oriente de la chimenea, el fuste deberá estar equipado con otra puerta de las mismas características que la descrita anteriormente. En las caras norte y sur del fuste, se dejarán los huecos para permitir el paso de los ductos para los gases. Estos ductos medirán 4.35 m. de ancho, y 7.80 m. de altura, empezándose a medir en el nivel +6.923 m. y finalizando en el nivel +14.723 m. Los aspectos en que se

deberá de poner una especial atención, y que se tendrá que presentar una documentación especial, son los siguientes:

- a) Ubicación de los malacates.
- b) Corte esquemático de la cimbra deslizante.
- c) Control de la verticalidad.
- d) Esquematización del alumbrado.
- e) Equipo para el deslizado de la cimbra.
- f) Control de la verticalidad en el deslizado de la chimenea.

Antes de dar inicio con el colado del fuste de la chimenea, deberán de tenerse en el sitio de la obra, todos los materiales y equipo necesarios para el deslizado del fuste. El residente general de la obra, será el responsable directo del cumplimiento de las presentes especificaciones y de que el personal a su cargo, realice las actividades requeridas para alcanzar la calidad especificada.

II. Procedimiento:

- a) La junta constructiva se preparará de acuerdo al **Procedimiento PT-C-09**, última revisión. La instalación del acero de refuerzo se verificará de acuerdo al **Procedimiento PT-C-09**, última revisión.
- b) El concreto premezclado, será fabricado en el interior de la planta termoeléctrica por medio de una planta de concreto con una capacidad de producción de 25 m³/hr.; además de la planta de concreto, deberá de contarse con una dosificadora de concreto, con una capacidad de 25 m³/hr. La iluminación en todas las áreas de acceso a la planta deberá ser suficiente.
- c) Para la elaboración del concreto se deberán incluir 2 tipos de aditivos: un agente inclusor de aire de 3 a 6%, medido en el instante de la colocación y un reductor de agua o, en su defecto, un retardador de fraguado tipo "D". acorde con la temperatura ambiente. La utilización del aditivo inclusor de aire estará sujeto a la aprobación por parte de **C.F.E.**
- d) La transportación del concreto desde la planta hasta el sitio de la obra en donde se realizará el colado, se efectuará por medio de 4 ollas revolvedoras sobre camión.
- e) El deslizado de la cimbra, comprende desde el nivel -1.00 m. hasta llegar al nivel +120.00 m. La cimbra se compone de una sección tronco cónica con un diámetro exterior variable de 21.30 a partir del nivel -1.00 m. Tiene un diámetro exterior de 16.70 m, en el nivel +120.00 m. El espesor del fuste al nivel -1.00 m, es de 65 cm, el cual va disminuyendo hasta llegar a un espesor de 35 cm. en el nivel +78.00 m, manteniéndose así hasta llegar al nivel +120.00 m.

- f) El izaje del acero de refuerzo se efectúa por medio de una pluma accionada con malacates de 3 toneladas de capacidad. El concreto se trasladará con un equipo de levante tipo concrete-hoist, accionado con malacates equipados con recipientes de 0.20 m³ de capacidad. Los recipientes que contienen el concreto se elevan hasta el nivel de la plataforma y lo depositan en receptores y estos, a su vez, lo vacían en carretillas para colarlo por último, en la cimbra.
- h) El concreto una vez vaciado deberá de ser vibrado, para lo cual, se deberá de contar con 6 vibradores eléctricos espaciados uniformemente, de manera que cubran las especificaciones del colado. Adicionalmente, se contará con otros 2 vibradores de gasolina y otros 2 eléctricos.
- i) Para el proceso de construcción del fuste de la chimenea se requiere del sistema de cimbra deslizante, debido a la geometría que presenta esta. La cimbra deslizante se va elevando por medio de gatos hidráulicos que avanzan a una velocidad de 1" por cada 5 minutos. Para dar inicio con el deslizado, se debe de tener como mínimo, el molde con el 75% de volumen de capacidad, llenado en capas uniformes.
- j) La velocidad promedio de izaje, será de 20 cm/hr, por lo tanto, la duración del colado estará estimada en unos 25 días efectivos aproximadamente; no obstante, la duración podrá disminuirse con el mejoramiento del rendimiento.
- k) En caso de presentarse una junta fría durante el colado, esta se tendrá que preparar de acuerdo al **Procedimiento PT-C-09**; reiniciándose el colado se aplicará una capa de 1" de espesor de mortero, con la misma proporción del concreto de diseño, que servirá como liga entre el concreto endurecido y el concreto fresco.
- l) El acabado aparente que dejará el molde de cimbra será el definitivo, cuando se requiera detallar algún defecto, se realizará inmediatamente con esponja para lograr uniformidad en la apariencia de la superficie. En el caso de un detalle mayor se realizará la reparación con mortero fabricado del mismo concreto para obtener así los resultados óptimos de calidad.
- m) El curado posterior al acabado se aplicará con rodillos manuales, o cualquier otro instrumento que permita la aplicación del curacreto solución acuosa. El curado se efectuará por medio de bombas aspersoras portátiles.

III. Control de verticalidad:

- a) Para controlar el desarrollo vertical del fuste, se llevará un registro de 4 plomadas por la cara interior, las cuales colgarán de la estructura de la cimbra deslizante y tendrán como referencia cada una, círculos concéntricos en el

nivel -1.00 m. que servirán para obtener el comportamiento del molde en cuanto a giros y desplomes. La verificación se llevará a cabo, un mínimo de 4 ocasiones en un periodo de 24 horas.

- b) Por el lado exterior del fuste, se tomará una referencia tanto del concreto como de la cimbra, para poder detectar posibles desplazamientos. Esta lectura se efectuará por medio de un tránsito topográfico situado a una distancia de 100 m. de la chimenea. Este registro se tomará tanto por la cara sur como por la cara oriente del fuste.
- c) Para una mejor lectura de los niveles se llevarán marcas en las barras de apoyo de los gatos, desde el inicio, a cada metro de altura, y periódicamente se verificará con cinta métrica.

IV. Embebidos metálicos:

Para la construcción posterior de las plataformas a base de estructura metálica y losas de concreto reforzado, se dejarán placas embebidas en el concreto del fuste, las cuales serán de acero A-36 y quedarán sujetas al acero del fuste mediante amarres con alambre recocido, pudiendo ser punteadas con soldadura al refuerzo del fuste, para lograr facilidad en la colocación y garantizar su posición en niveles y líneas de proyecto. Para los niveles +17.86 m, +37.86 m, +57.86 m, +85.86 m. y +113.86 m, se tendrán las siguientes placas:

TABLA 5.3- 1

Tipo de placa	Cantidad por nivel	Dimensiones
P.1	4 piezas	0.94 m. X 0.50 m. X 1"
P.2	4 piezas	0.79 m. X 0.40 m. X 3/4"
P.3	2 piezas	0.40 m. X 0.28 m. X 3/4"
P.4	8 piezas	0.30 m. X 0.24 m. X 3/4"

Para el nivel +118.53 m. se dispondrá de las siguientes placas:

TABLA 5.3- 2

Tipo de placa	Cantidad por nivel	Dimensiones
P.3	12 piezas	0.40 m. X 0.28 m. X 3/4"
P.5	4 piezas	1.17 m. X 0.50 m. X 1"

Los niveles indicados en las tablas anteriores corresponden al superior de la placa. Para la construcción de plataformas exteriores, se dejarán embebidas las placas que se mencionan a continuación:

- a) Plataformas exteriores en el nivel +86.00 m.

TABLA 5.3- 3

Tipo de placa	Cantidad por 2 plataformas	Dimensiones	Nivel superior de placa
P.4	8 piezas	0.30 m. X 0.24 m. X 3/4"	+85.011 m.
P.4	8 piezas	0.30 m. X 0.24 m. X 3/4"	+85.935 m.

- b) Plataforma exterior para acceso a monorriel.

TABLA 5.3- 4

Tipo de placa	Cantidad por 2 plataformas	Dimensiones	Nivel superior de placa
P.4	4 piezas	0.30 m. X 0.24 m. X 3/4"	+114.411 m.
P.6	1 pieza	0.20 m. X 0.66 m. X 3/8"	+114.600 m.
P.4	4 piezas	0.30 m. X 0.24 m. X 3/4"	+115.335 m.
P.6	1 pieza	0.20 m. X 0.66 m. X 3/8"	+115.661 m.
P.6	1 pieza	0.20 m. X 0.66 m. X 3/8"	+116.585 m.
P.6	1 pieza	0.20 m. X 0.66 m. X 3/8"	+116.700 m.

Placas embebidas para escalera marina. Para la construcción posterior de la escalera marina, se dejarán embebidas 113 piezas de placas tipo P-6 con dimensiones de 0.20 m. X 0.66 m. X 3/8", a lo largo del desarrollo del fuste.

V. Alumbrado general:

- a) Se colocarán focos de 150 watts en todo el perímetro del fuste a una altura de 2.00 m. de altura del nivel de plataforma y por cada gato colocado se hará lo mismo para el andador exterior y el interior para los acabados. Así también se colocarán 8 lámparas de 500 watts en el centro de la plataforma de trabajo a una altura de 4.00 m. aproximadamente.
- b) Para las escaleras se colocarán focos de 150 watts en toda su altura. Se contará con lámparas de 1500 watts para la iluminación del área de la

chimenea a nivel de piso. Los malacates contarán con iluminación suficiente a base de focos de 150 watts.

VI. Seguridad:

Se contará con una torre para escalera de acceso para subir y bajar. Además se colocarán anuncios de seguridad en zonas que requieran tanto en el interior como en el exterior.

VII. Construcción del fuste:

- a) La medición, composición, mezclado y colocado del concreto y materiales, deben ajustarse a las normas **ACI 304, 305, 306 y 211.1**. Estas operaciones deben estar sujetas a la aprobación de **C.F.E.** El trabajo de cimbrado, deberá ajustarse a la norma **ACI 347**. Los troqueles para separar la cimbra no deben ser permitidos en las caras que forman la parte interior y exterior del fuste.
- b) El acabado de la cara exterior del fuste debe ser natural. Las partes salientes, protuberancias o rugosidades, deben ser eliminadas. El curado se realizará conforme a la norma **ACI 308**. La mezcla para la realización del curado deberá ser compatible con lo utilizado en la cimbra interior y exterior. Su aplicación se efectuará de acuerdo a las especificaciones de **C.F.E.**
- c) El desplazamiento de la chimenea con respecto a la vertical, no debe exceder de 2.5 cm. en 15 m. y el desplazamiento total desde la cimentación no debe exceder de $0.002 h$, siendo h , la altura total de la chimenea. La variación de espesor de la pared de la chimenea, no debe exceder de ± 1.27 cm. para paredes de espesor superior a los 20 cm. Se deben de pintar 15 m. desde la parte superior del fuste hacia abajo, con un recubrimiento de hule clorado CFE A-11 según la **Especificación CFE D8500-02**, en bandas de 2.50 m. de ancho de color rojo y blanco, de forma alterna.

BIBLIOGRAFÍA

ASTM D 25-91.

Standard specification for round timber piles. U.S.A.

ASTM D 143-83.

Standard methods of testing small clear specimens of timber. U.S.A.

ASTM D 198-84.

Standard methods of static tests of timbers in structural sizes. U.S.A.

ASTM D 1760-86 a.

Standard specification for pressure treatment of timber products. U.S.A.

ASTM C 31-91.

Standard practice for making and curing concrete tests specimens in the field. U.S.A.

ASTM C 33-90.

Standard specification for concrete aggregates. U.S.A.

ASTM C 39-86.

*Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens.
U.S.A.*

ASTM C 94-92.

Standard specification for ready-mixed concrete. U.S.A.

ASTM C 143-90.

Standard test method for slump of hydraulic cement concrete. U.S.A.

ASTM C 150-92.

Standard specification for portland cement. U.S.A.

ASTM C 192-90 a.

*Standard practice for making and curing concrete tests specimens in the laboratory.
U.S.A.*

ASTM C 260-86.

Standard specification for air-entraining admixtures for concrete. U.S.A.

Manual de Diseño de Obras Civiles.

C.2.7. Instituto de Investigaciones Eléctricas. 1981.
Comisión Federal de Electricidad. México.

Manual de tecnología del concreto.

Sección 1. Definición y requisitos de los componentes del concreto.

Comisión Federal de Electricidad.
Instituto de Ingeniería. U.N.A.M.
1994. Edit. Limusa. México.

Manual de tecnología del concreto.

Sección 2. Concreto fresco y en curso de endurecimiento.

Comisión Federal de Electricidad.
Instituto de Ingeniería. U.N.A.M.
1994. Edit. Limusa. México.

Manual de tecnología del concreto.

Sección 3. Concreto en estado endurecido.

Comisión Federal de Electricidad.
Instituto de Ingeniería. U.N.A.M.
1994. Edit. Limusa. México.

CONCLUSIONES

Una vez terminado todo el estudio evaluatorio, concerniente al diseño, proceso constructivo y operación de una central termoeléctrica, mencionaré varios detalles sobresalientes, que me llevan a realizar un análisis comparativo con las plantas hidroeléctricas; abarcando los estudios que son aplicados a ambas plantas, pero yo me inclinaría más por las centrales hidroeléctricas, por ser más limpias para el medio ambiente. Los estudios que se considerarán son los siguientes:

1. Estudios preliminares.
2. Estudios de factibilidad.
3. Análisis de impacto ambiental.
4. Legislación estatal y federal.
5. Análisis de costos (construcción, operación y mantenimiento).
6. Presupuestación.
7. Estudios geotécnicos.
8. Diseño de estructuras.
9. Análisis de estructuras.
10. Proceso constructivo.
11. Supervisión y aseguramiento de calidad.

1. **Estudios preliminares.** En este estudio, tanto las hidroeléctricas como las termoeléctricas requieren de prolongados periodos de observación y de medición. Para una hidroeléctrica es necesario tomar mediciones de precipitación en la región, de temperatura media, de evaporación, de periodos de retorno, de impacto ambiental y de sismicidad de la zona estudiada. Para una termoeléctrica, se requieren registros de velocidad regional del viento y de sismicidad del sitio, de impacto ambiental y de tráfico aéreo (todos estos estudios son ocasionados por la altura de las chimeneas).

2. **Estudios de factibilidad.** Para tomar la decisión de en donde se podría construir una planta electrogeneradora, yo me inclinaría por las centrales termoeléctricas por encima de las demás. Afirmando esto, porque una termoeléctrica se puede edificar en casi cualquier sitio, teniendo como única condición el que exista cerca o que pueda llegar a ella, un flujo de agua para poder emplearla en el enfriamiento de los equipos; aunque se puede también optar por construir una laguna de regulación o enfriar los equipos por medio

de aire. En cambio, en el caso de las hidroeléctricas, se requiere de 4 características esenciales del lugar: a) Que tenga un flujo de agua para que pueda proveerse la planta; b) Que la topografía del sitio permita construir una cortina para el llenado del vaso; c) Que el suelo no permita una infiltración importante y d) Que el clima de la región no ocasione una evaporación considerable del vaso de almacenamiento.

3. **Impacto ambiental.** Puede considerarse menor el impacto ambiental que ocasiona una hidroeléctrica que el de una termoeléctrica, ya que la primera no produce ninguna clase de contaminantes, en cambio, la segunda despiden una enorme cantidad de gases tóxicos a la atmósfera.
4. **Legislación estatal y federal.** En este punto no existe diferenciación, ya que en ambos casos se consideran los mismos criterios.
5. **Análisis de costos.** El análisis de costos es muy variable, ya que tanto el costo de construcción, operación y mantenimiento varían dependiendo del sitio de localización, de los materiales suministrados, por la capacidad instalada de generación de la planta, por los combustibles utilizados, por la cantidad de personal empleado, etc.; es por ello, que este no es un parámetro muy recomendable como punto de comparación.
6. **Presupuestación.** Este aspecto difiere mucho debido al tiempo de duración del proyecto y del tiempo de recuperación de la inversión inicial.
7. **Estudios geotécnicos.** Esta clase de estudio es igualmente riguroso para ambas plantas, por lo que no existe ventaja de una sobre la otra.
8. **Diseño de la estructura.** El diseño de las estructuras de una termoeléctrica como de una hidroeléctrica, es igual de meticuloso, ya que en ambos casos se debe de contar con el mayor margen de seguridad que se pueda contar.
9. **Análisis de la estructura.** Se debe seguir con la misma rigurosidad que en el diseño de las estructuras.
10. **Procesos constructivos.** Estos deben de aplicarse con la misma severidad tanto para termoeléctricas como para hidroeléctricas.
11. **Supervisión y control de calidad.** El control de calidad será supervisado siguiendo los mismos procedimientos a ambos tipos de centrales en cuanto a materiales, mano de obra calificada, maquinarias y equipos, muestreos, registros, pruebas, experimentos, cumplimiento de las especificaciones, etc.

ORGANISMOS CONSULTADOS

ACI	(American Concrete Institute).
AISC	(American Institute of Steel Construction).
ASCE	(American Society of Civil Engineers).
ASTM	(American Society for Testing and Materials).
AWS	(American Welding Society).
CFE	(Comisión Federal de Electricidad).
EPA	(Environmental Protection Agency).
II	(Instituto de Ingeniería).
IIE	(Instituto de Investigaciones Eléctricas).
IMCA	(Instituto Mexicano de la Construcción en Acero).
IMCYC	(Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto).
NAPCA	(National Air Pollution Control Administration).
PCA	(Portland Cement Association).
UNAM	(Universidad Nacional Autónoma de México).

Anexo I

TABLAS

TABLA I-1

Refuerzo circular exterior mínimo para controlar agrietamientos por temperatura, ρ mín %.

$f_c = 200 \text{ kg/cm}^2$		$W \text{ máx} = 0.2 \text{ mm.}$			
Espesor (cm.)	Varillas del refuerzo anular exterior				
Fuste	Recubrimiento	Número 3	Número 4	Número 5	Número 6
15	3	0.23	0.28	0.33	0.37
*	6	0.20	0.25	0.30	0.34
20	3	0.23	0.28	0.32	0.36
*	6	0.20	0.24	0.29	0.33
30	3	0.22	0.27	0.31	0.35
*	6	0.20	0.24	0.28	0.31
40	3	0.22	0.26	0.30	0.34
	6	0.20	0.23	0.27	0.31
50	3	0.21	0.26	0.30	0.34
	6	0.20	0.23	0.27	0.30
60	3	0.21	0.26	0.30	0.33
	6	0.20	0.22	0.26	0.30
80	3	0.21	0.25	0.29	0.33
	6	0.20	0.22	0.26	0.30

ESPECIFICACIONES

* Para estos espesores, el recubrimiento más recomendable, es el de 3 cm.

Para otros valores de f_c y $W \text{ máx}$, se deben multiplicar los valores de esta tabla por $0.76 f_c^{(1/3)} W \text{ máx}^{(-1/2)}$, con f_c en kg/cm^2 y $W \text{ máx}$ en mm.

TABLA I.2

Límite de fluencia (kg/cm²) de diversos aceros en función de la temperatura.

Temperatura °C								
CALIDAD	40	100	150	200	250	300	350	400
A-283, grado C	2100	1910	1870	1810	1720	1600	1530	1465
A-36	2520	2300	2240	2170	2065	1920	1830	1760
A-242	3500	3070	2840	2650	2505	2410	2300	-
A-240, tipo 316-L	1755	1465	1325	1220	1135	1070	1020	980

TABLA I.3

Dimensiones generales de algunas chimeneas de concreto reforzado.

Altura H (m)	Dímetro exterior superior D(H) (m)	Dímetro exterior inferior D(o) (m)	D(o)/H	D(H)/H	Peso del concreto del fuste (ton)
107.3	7.2	9.4	0.0888	0.0670	2060
137.2	5.0	10.9	0.0795	0.0363	3060
162.8	5.7	10.7	0.0656	0.0350	3800
189.6	7.1	14.4	0.0760	0.0375	5690
243.8	11.1	19.8	0.0812	0.0457	11360
251.5	7.6	19.5	0.0775	0.0303	10430
252.4	8.8	20.7	0.0819	0.0349	10370
274.3	10.4	21.9	0.0800	0.0381	15350
304.8	10.3	25.3	0.0830	0.0337	-
365.8	11.3	29.0	0.0794	0.0308	29300
		Promedio	0.0793	0.0389	

TABLA I.4**Coefficientes de conductividad térmica.**

Tipo de material	Coeficiente de conductividad térmica k cal/mihora $^{\circ}$ C
Concreto convencional	1.50 (C _c)
Ladrillo (ASTM C-279)	0.75 (C _b)
Ladrillo antiácido	0.95 (C _b)
Ladrillo refractario con bajo contenido de alúmina	0.80 (C _b)
Concreto de escoria expandida $\gamma = 1.4$ ton/m ³	0.35 (C _b)
Concreto con agregado de pumicita o cenizas $\gamma = 1.4$ ton/m ³	0.38 (C _b)
Concreto liviano con aire incorporado (foam concrete) $\gamma = 1.2$ ton/m ³	0.48 (C _b)

TABLA I.5

Valores de los coeficientes α , β y γ , para determinar solicitaciones de ovalización en chimeneas de sección circular.

Superficie	α	β	γ
Lisa	0.36	0.31	1.0
Rugosa	0.40	0.36	1.5

TABLA I.6

Coefficientes de arrastre C_D .

Superficie exterior del fuste	C_D
Cilindro o tronco de cono circular liso	0.55
Cilindro o cono con barras cilíndricas contra vórtices (*)	0.9
Cilindro o cono con placas contra vórtices (*)	1.2
Prisma poligonal (**)	1.4

ESPECIFICACIONES

* En estos casos, C_D se aplica a la máxima dimensión transversal de la sección considerada; es decir, incluyendo los dispositivos contra vórtices.

** C_D está referido a la mayor sección transversal del prisma en la sección considerada.

TABLA I.7	Valores del exponente α
------------------	--

Naturaleza del terreno	α
Litoral	0.12
Campo abierto en el interior: áreas rurales de topografía suave	0.14
Alrededores de ciudades pequeñas	0.18
Centros de ciudades pequeñas, suburbios extensos, áreas boscosas de topografía accidentada	0.22

TABLA I.8	Concentraciones de fondo para anhídrido sulfuroso.
------------------	---

Localidad	Fondo de SO ₂
Áreas rurales poco contaminadas	10
Áreas de industrialización media	110
Áreas muy urbanizadas, ciudades	160

TABLA I-9*Normas ambientales de calidad del aire.*

Contaminante	Límite propuesto por la SMA ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Límite adoptado por la EPA ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (P)
PST	350 (*)	260 (*)
	100 (**)	75 (**)
SO ₂	350 (*)	365 (*)
		80 (***)
Óxidos de nitrógeno NO _x (como NO ₂)		250 (*)
		100 (***)

ESPECIFICACIONES

P = Patrón de calidad primario.

* Concentración máxima que no debe de excederse en 24 horas, solamente una vez al año.

** Media geométrica anual.

*** Media aritmética anual.

TABLA I-10

Normas mexicanas de emisión de partículas sólidas aplicables a centrales termoeléctricas convencionales.

Tipo de combustible	Capacidad del proceso: k-cal/hora	Máxima emisión de polvos permitida: g/10 ⁶ k-cal/hora
Líquidos derivados del petróleo	< 63 x 10 ⁶	80
	> 63 x 10 ⁶	45
Sólidos	< 40 x 10 ⁶	1500
	> 40 x 10 ⁶	1000

TABLA I-11

Factores de emisión de contaminantes de chimeneas de centrales termoeléctricas que utilizan combustibles convencionales (referencias de la National Air Pollution Control Administration, NAPCA).

Contaminante	kg/ton de carbón quemado	kg/m ³ de combustóleo quemado	kg/1000 m ³ de gas natural quemado
Aldehidos	0.0025	0.072	0.016
Monóxido de carbono	0.25	0.005	-
Hidrocarburos	0.1	0.38	-
Otros compuestos orgánicos	-	-	0.048
Óxidos de nitrógeno	10	12.5	6.25
Bióxido de azufre (SO ₂)	19 p (*)	19 p (*)	0.006
Trióxido de azufre (SO ₃)	-	0.29 p (*)	-
Partículas	Depende del grado de control de las cenizas expulsadas	1.20	0.24

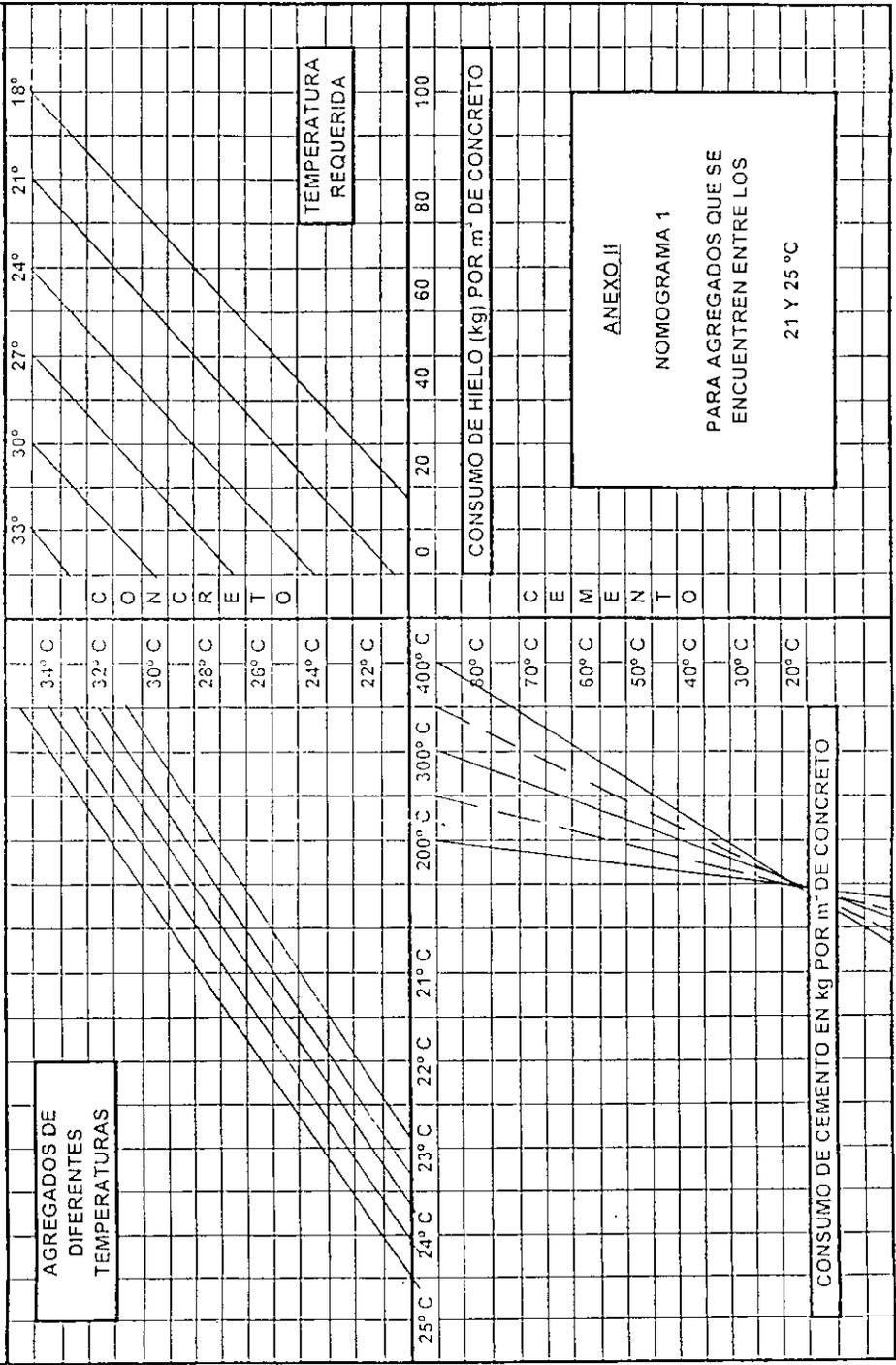
ESPECIFICACIONES

* p es el contenido de azufre del combustible, expresado en un tanto porcentual. Ejemplificando, si el contenido de azufre de un combustóleo determinado es de 3%, la emisión de SO₂ será $19 \times 3 = 57 \text{ kg/m}^3$ de combustóleo, y la de SO₃ será de $0.29 \times 3 = 87 \text{ kg/m}^3$ de combustóleo.

Anexo II

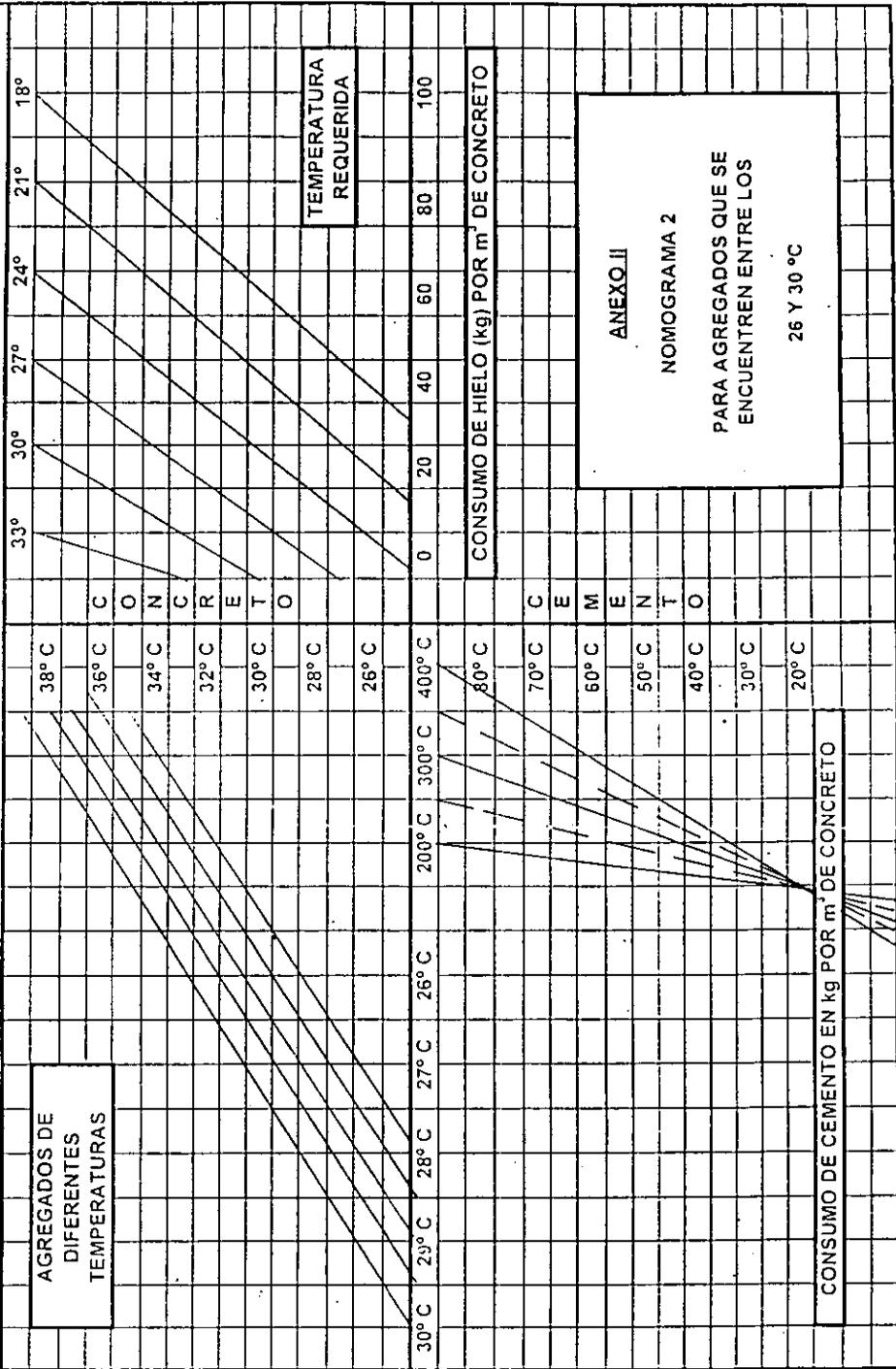
GRÁFICAS

NOMOGRAMA QUE INDICA EL CONSUMO DE HIELO PARA UNA TEMPERATURA DADA EN EL CONCRETO;
CONSIDERANDO EL AGUA DE LA MEZCLA A UNA TEMPERATURA DE 30° C.

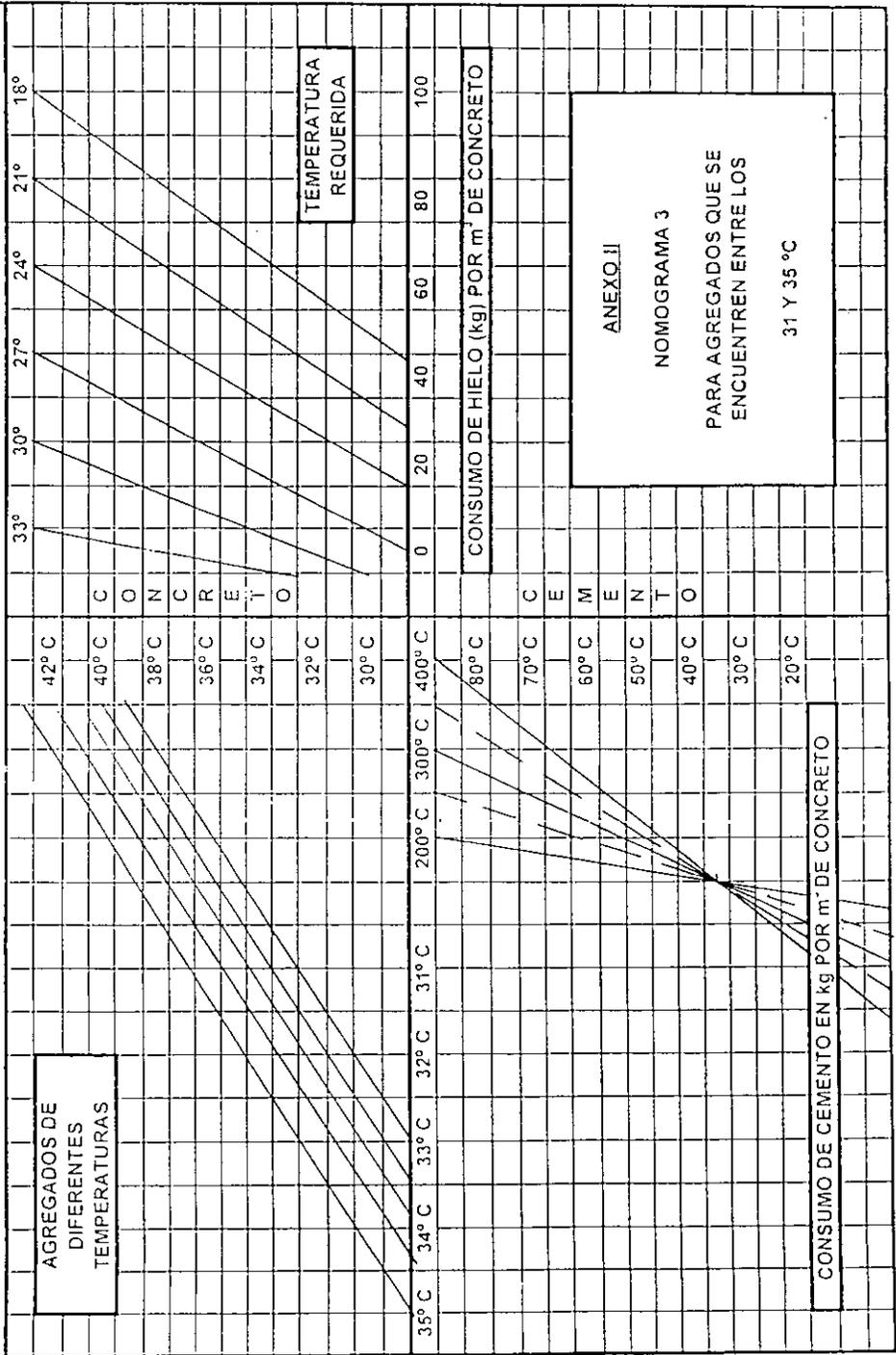


ANEXO II
NOMOGRAMA 1
PARA AGREGADOS QUE SE
ENCUENTREN ENTRE LOS
21 Y 25 °C

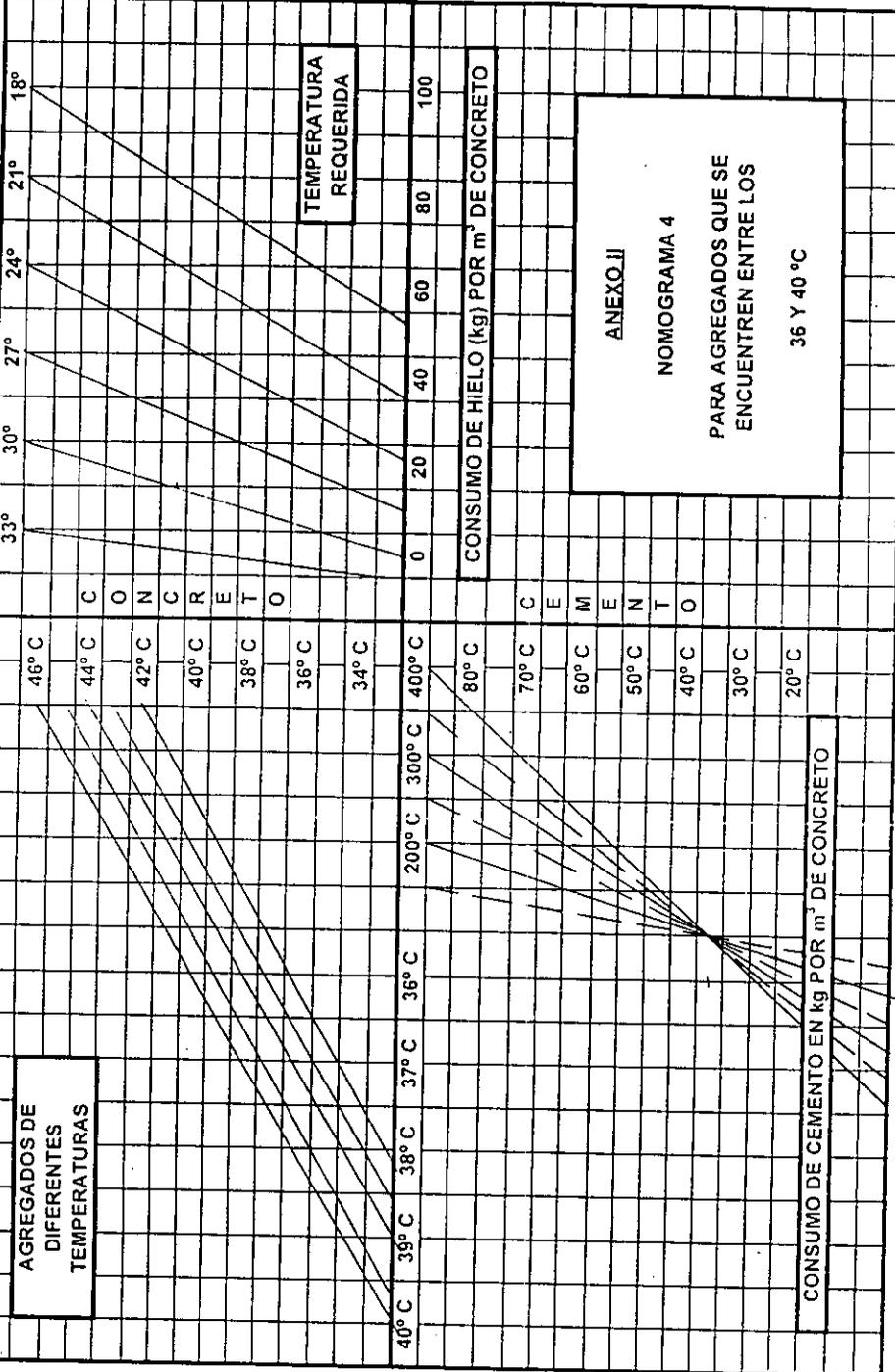
NOMOGRAMA QUE INDICA EL CONSUMO DE HIELO PARA UNA TEMPERATURA DADA EN EL CONCRETO;
CONSIDERANDO EL AGUA DE LA MEZCLA A UNA TEMPERATURA DE 30° C.



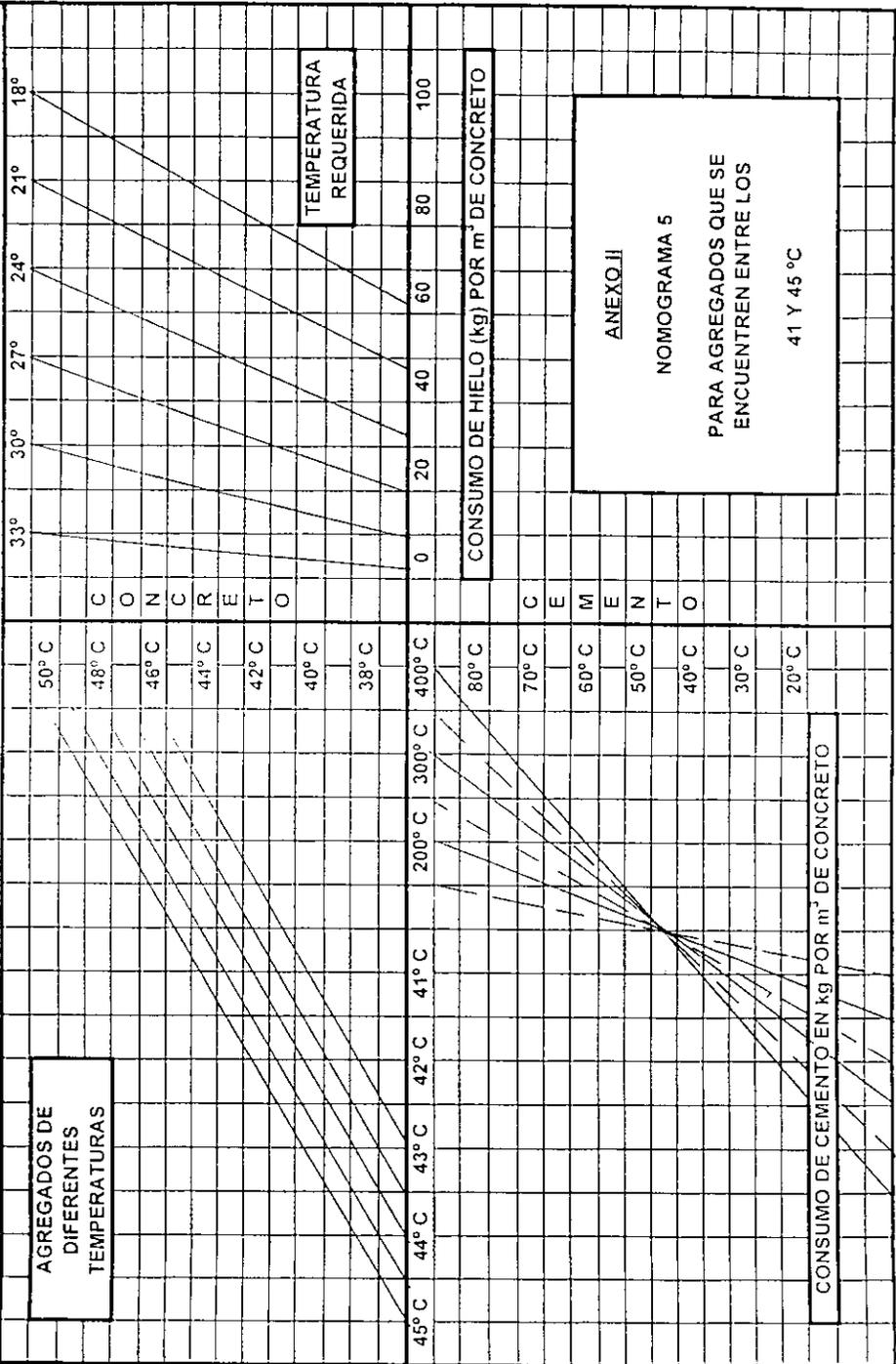
NOMOGRAMA QUE INDICA EL CONSUMO DE HIELO PARA UNA TEMPERATURA DADA EN EL CONCRETO;
CONSIDERANDO EL AGUA DE LA MEZCLA A UNA TEMPERATURA DE 30° C.



NOMOGRAMA QUE INDICA EL CONSUMO DE HIELO PARA UNA TEMPERATURA DADA EN EL CONCRETO, CONSIDERANDO EL AGUA DE LA MEZCLA A UNA TEMPERATURA DE 30° C.



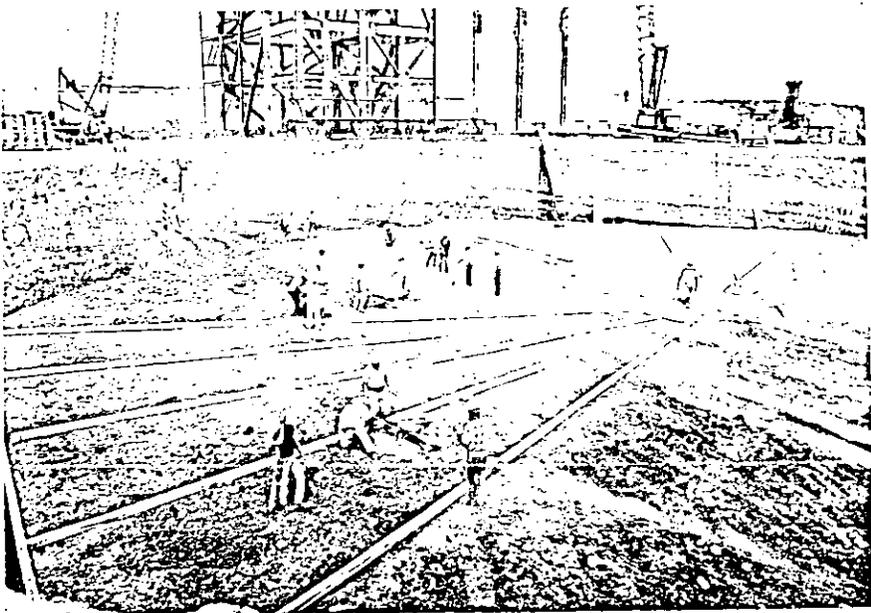
NOMOGRAMA QUE INDICA EL CONSUMO DE HIELO PARA UNA TEMPERATURA DADA EN EL CONCRETO;
CONSIDERANDO EL AGUA DE LA MEZCLA A UNA TEMPERATURA DE 30° C.



Anexo III

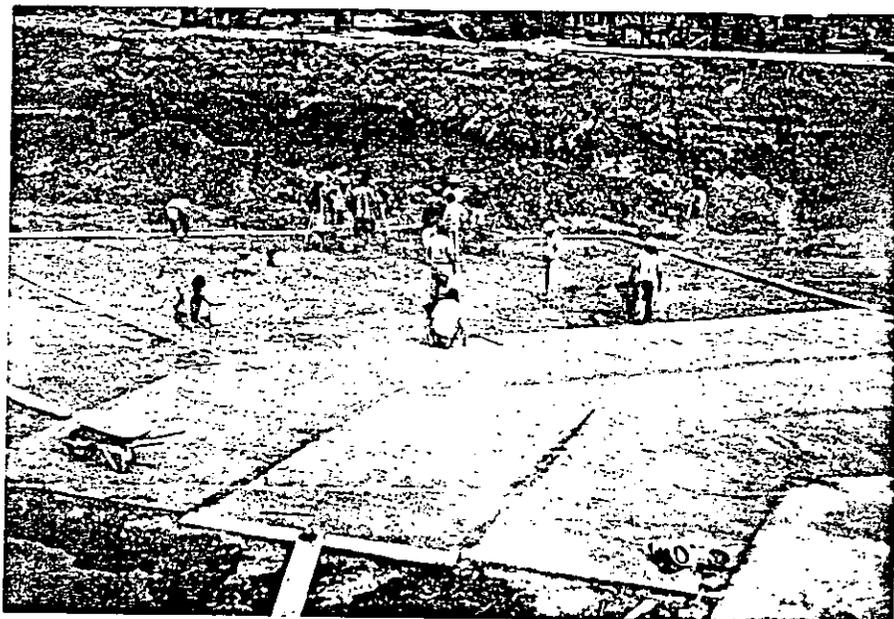
FOTOGRAFÍAS

FOTO I.1



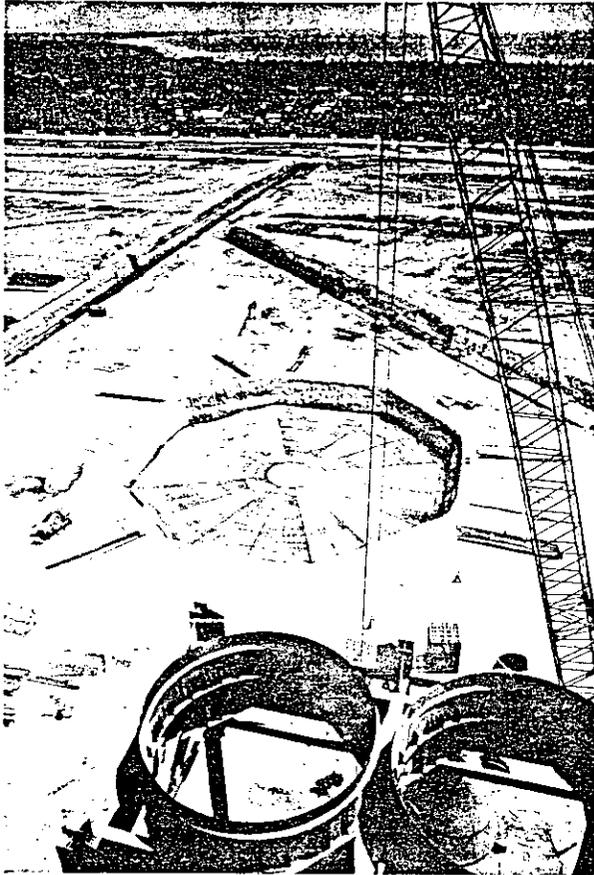
Preparativos para la colocación de la plantilla para la cimentación de la chimenea. (Cortesía de *Comisión Federal de Electricidad*).

FOTO I.2



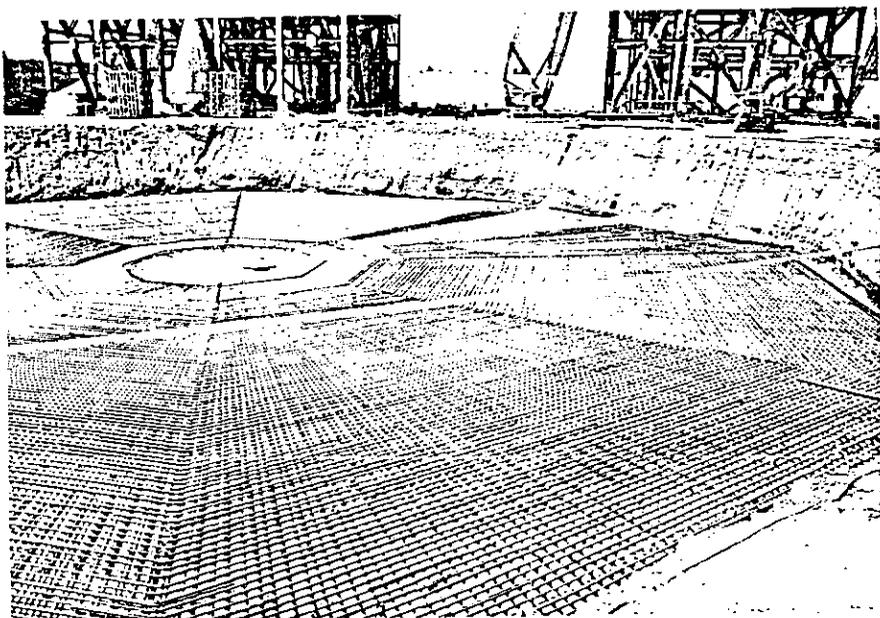
Preparativos para el colado de la plantilla para la cimentación de la chimenea.
(Cortesía de Comisión Federal de Electricidad).

FOTO I.3



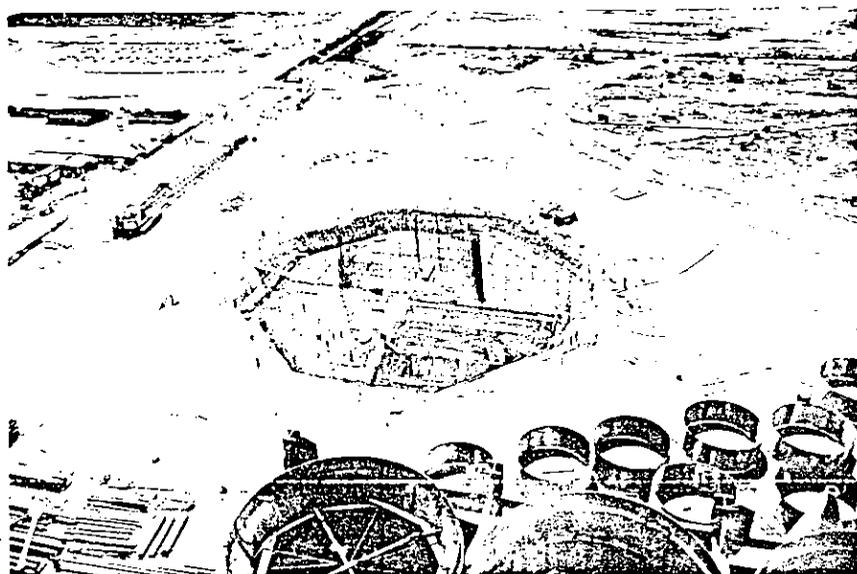
Vista aérea de la plantilla de cimentación para la chimenea. (Cortesía de *Comisión Federal de Electricidad*).

FOTO I.4



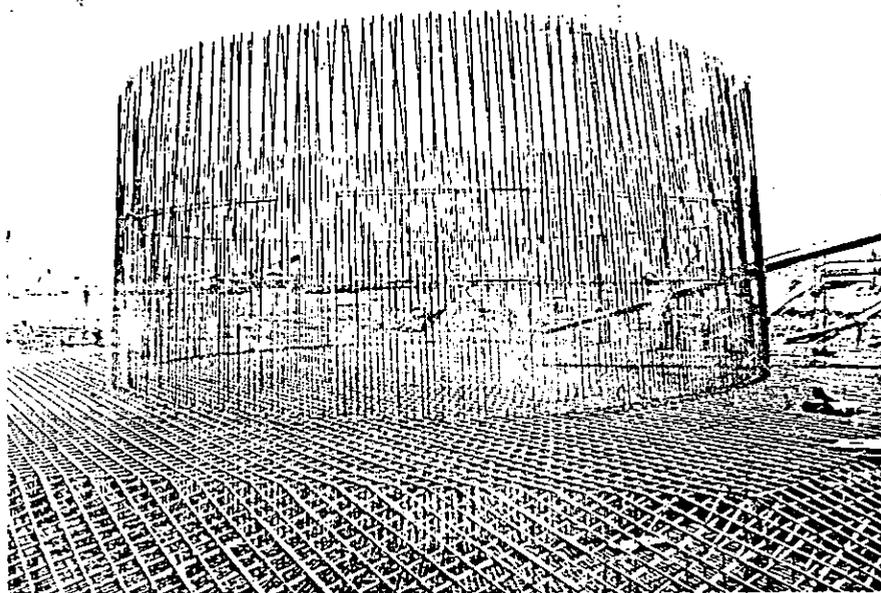
Armado de acero de refuerzo para la parrilla inferior de la cimentación de la chimenea. (Cortesía de *Comisión Federal de Electricidad*).

FOTO I.5



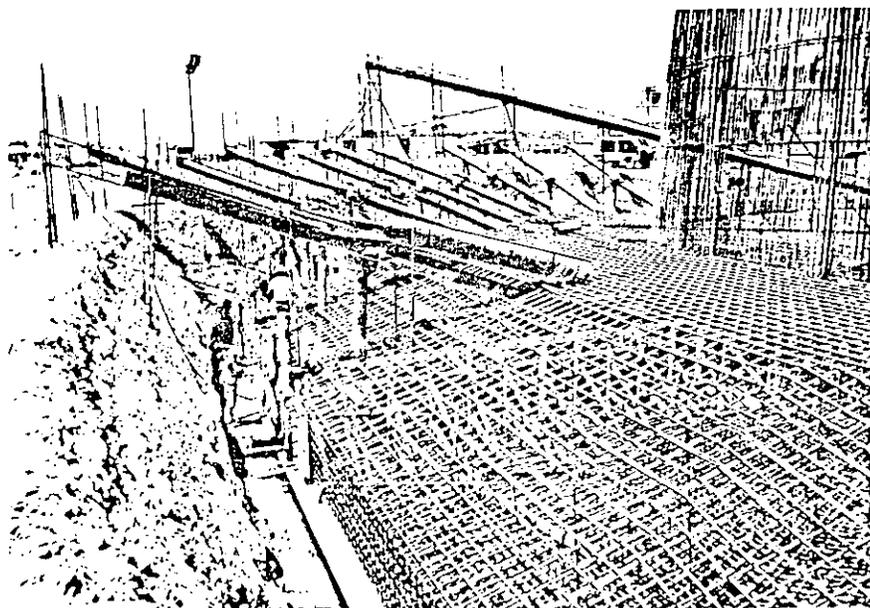
Vista aérea del armado de acero de refuerzo para la cimentación y el fuste de la chimenea. (Cortesía de *Comisión Federal de Electricidad*).

FOTO I.6



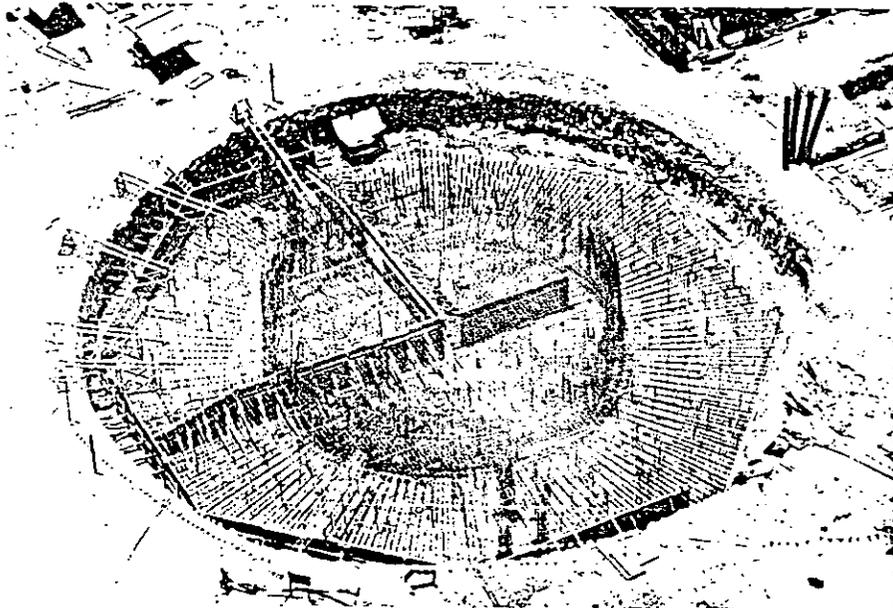
Acero de refuerzo en la cimentación y el fuste de la chimenea. (Cortesía de Comisión Federal de Electricidad).

FOTO I.7



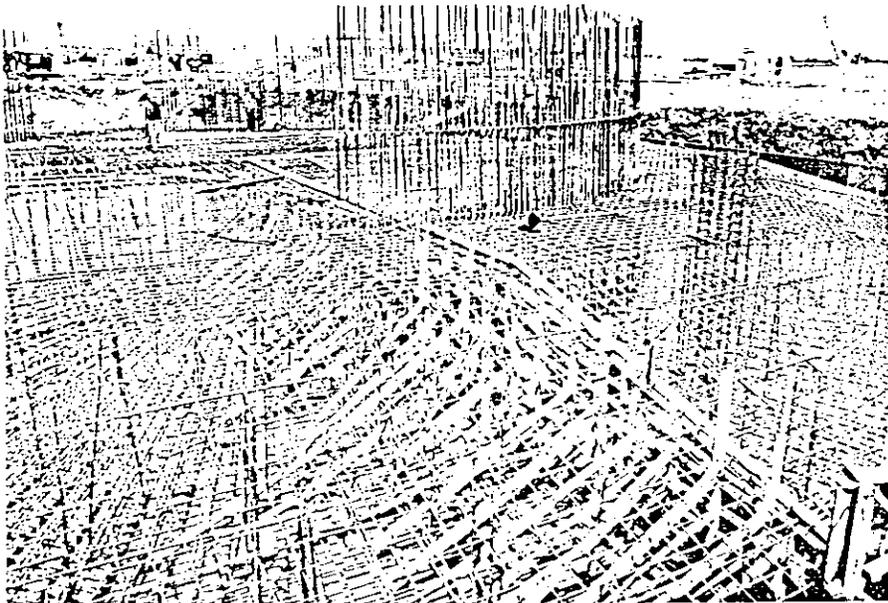
Colocación del acero de refuerzo para la plantilla de cimentación y el fuste de la chimenea. (Cortesía de *Comisión Federal de Electricidad*).

FOTO I.8



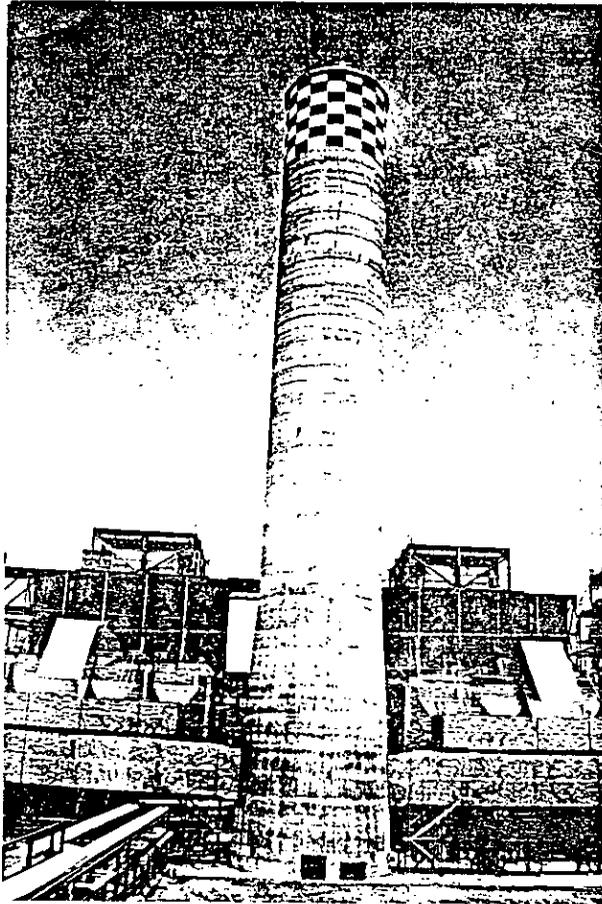
Vista aérea de la colocación de cimbra de madera para el colado de la cimentación. (Cortesía de *Comisión Federal de Electricidad*).

FOTO I.9



Colocación de cimbra de madera para el colado de la cimentación. (Cortesía de *Comisión Federal de Electricidad*).

FOTO I.10



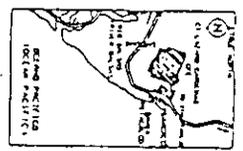
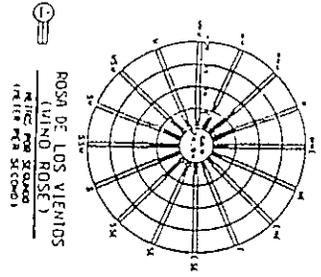
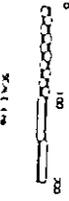
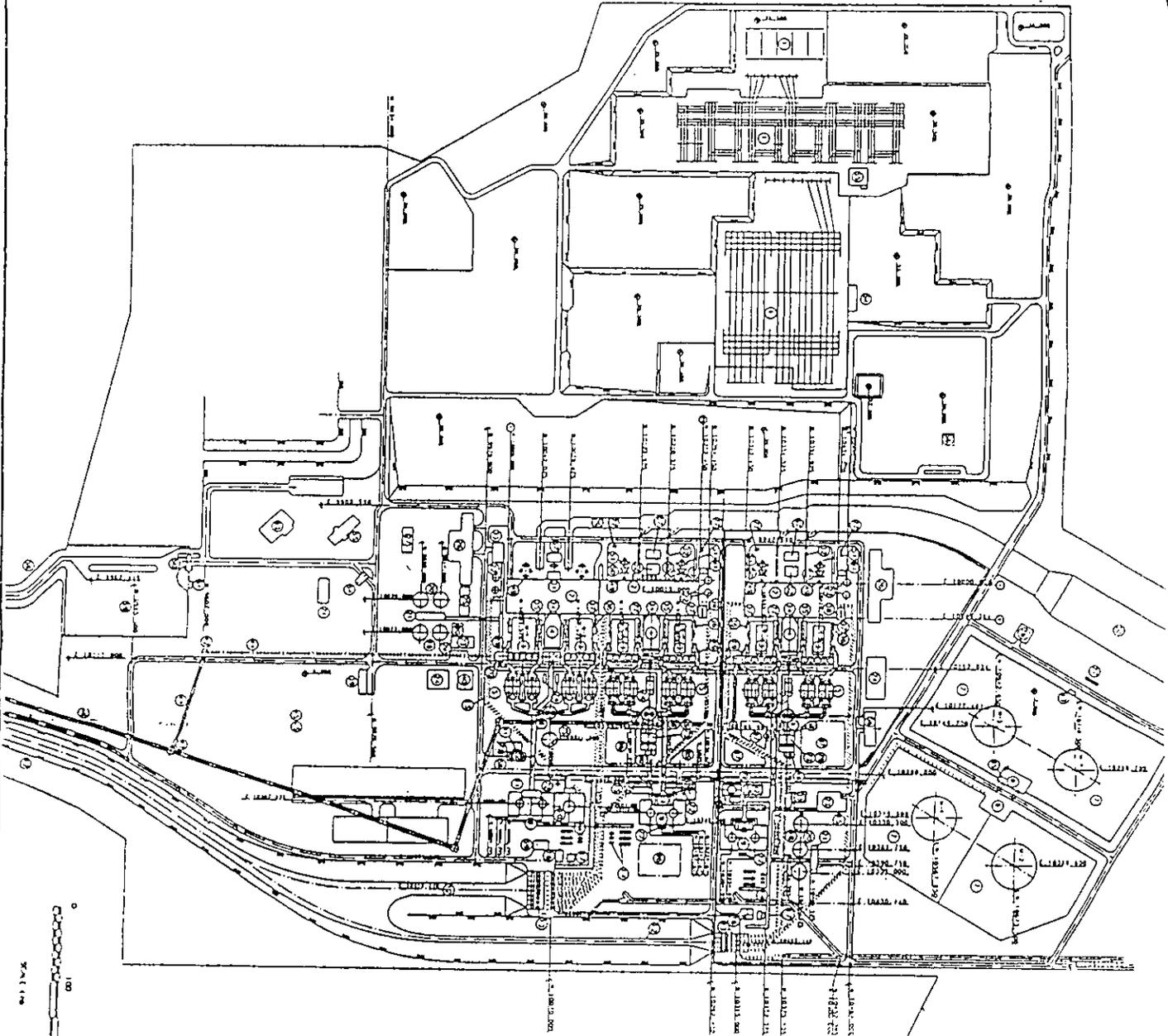
Vista panorámica de la chimenea de las Unidades 3 y 4 de la C.T. Presidente Plutarco Elías Calles. (Cortesía de *Comisión Federal de Electricidad*).

Anexo IV

PLANOS



ARREGLO GENERAL C. T. PETACALCO



NO.	DESCRIPCION	AREA	REMARKS
1	Edificio de Oficinas (Office Building)	1000	Edificio de 3 pisos (3-story building)
2	Cuartel de Soldados (Soldier Barracks)	2000	Edificio de 2 pisos (2-story building)
3	Cuartel de Oficiales (Officer Barracks)	1500	Edificio de 2 pisos (2-story building)
4	Cuartel de Caballeros (Gentlemen's Quarters)	1000	Edificio de 2 pisos (2-story building)
5	Cuartel de Mujeres (Ladies' Quarters)	1000	Edificio de 2 pisos (2-story building)
6	Cuartel de Niños (Children's Quarters)	1000	Edificio de 2 pisos (2-story building)
7	Cuartel de Veteranos (Veterans' Quarters)	1000	Edificio de 2 pisos (2-story building)
8	Cuartel de Reservistas (Reservists' Quarters)	1000	Edificio de 2 pisos (2-story building)
9	Cuartel de Retirados (Retirees' Quarters)	1000	Edificio de 2 pisos (2-story building)
10	Cuartel de Reservistas (Reservists' Quarters)	1000	Edificio de 2 pisos (2-story building)
11	Cuartel de Retirados (Retirees' Quarters)	1000	Edificio de 2 pisos (2-story building)
12	Cuartel de Reservistas (Reservists' Quarters)	1000	Edificio de 2 pisos (2-story building)
13	Cuartel de Retirados (Retirees' Quarters)	1000	Edificio de 2 pisos (2-story building)
14	Cuartel de Reservistas (Reservists' Quarters)	1000	Edificio de 2 pisos (2-story building)
15	Cuartel de Retirados (Retirees' Quarters)	1000	Edificio de 2 pisos (2-story building)
16	Cuartel de Reservistas (Reservists' Quarters)	1000	Edificio de 2 pisos (2-story building)
17	Cuartel de Retirados (Retirees' Quarters)	1000	Edificio de 2 pisos (2-story building)
18	Cuartel de Reservistas (Reservists' Quarters)	1000	Edificio de 2 pisos (2-story building)
19	Cuartel de Retirados (Retirees' Quarters)	1000	Edificio de 2 pisos (2-story building)
20	Cuartel de Reservistas (Reservists' Quarters)	1000	Edificio de 2 pisos (2-story building)
21	Cuartel de Retirados (Retirees' Quarters)	1000	Edificio de 2 pisos (2-story building)
22	Cuartel de Reservistas (Reservists' Quarters)	1000	Edificio de 2 pisos (2-story building)
23	Cuartel de Retirados (Retirees' Quarters)	1000	Edificio de 2 pisos (2-story building)
24	Cuartel de Reservistas (Reservists' Quarters)	1000	Edificio de 2 pisos (2-story building)
25	Cuartel de Retirados (Retirees' Quarters)	1000	Edificio de 2 pisos (2-story building)
26	Cuartel de Reservistas (Reservists' Quarters)	1000	Edificio de 2 pisos (2-story building)
27	Cuartel de Retirados (Retirees' Quarters)	1000	Edificio de 2 pisos (2-story building)
28	Cuartel de Reservistas (Reservists' Quarters)	1000	Edificio de 2 pisos (2-story building)
29	Cuartel de Retirados (Retirees' Quarters)	1000	Edificio de 2 pisos (2-story building)
30	Cuartel de Reservistas (Reservists' Quarters)	1000	Edificio de 2 pisos (2-story building)
31	Cuartel de Retirados (Retirees' Quarters)	1000	Edificio de 2 pisos (2-story building)
32	Cuartel de Reservistas (Reservists' Quarters)	1000	Edificio de 2 pisos (2-story building)
33	Cuartel de Retirados (Retirees' Quarters)	1000	Edificio de 2 pisos (2-story building)
34	Cuartel de Reservistas (Reservists' Quarters)	1000	Edificio de 2 pisos (2-story building)
35	Cuartel de Retirados (Retirees' Quarters)	1000	Edificio de 2 pisos (2-story building)
36	Cuartel de Reservistas (Reservists' Quarters)	1000	Edificio de 2 pisos (2-story building)
37	Cuartel de Retirados (Retirees' Quarters)	1000	Edificio de 2 pisos (2-story building)
38	Cuartel de Reservistas (Reservists' Quarters)	1000	Edificio de 2 pisos (2-story building)
39	Cuartel de Retirados (Retirees' Quarters)	1000	Edificio de 2 pisos (2-story building)
40	Cuartel de Reservistas (Reservists' Quarters)	1000	Edificio de 2 pisos (2-story building)
41	Cuartel de Retirados (Retirees' Quarters)	1000	Edificio de 2 pisos (2-story building)
42	Cuartel de Reservistas (Reservists' Quarters)	1000	Edificio de 2 pisos (2-story building)
43	Cuartel de Retirados (Retirees' Quarters)	1000	Edificio de 2 pisos (2-story building)
44	Cuartel de Reservistas (Reservists' Quarters)	1000	Edificio de 2 pisos (2-story building)
45	Cuartel de Retirados (Retirees' Quarters)	1000	Edificio de 2 pisos (2-story building)
46	Cuartel de Reservistas (Reservists' Quarters)	1000	Edificio de 2 pisos (2-story building)
47	Cuartel de Retirados (Retirees' Quarters)	1000	Edificio de 2 pisos (2-story building)
48	Cuartel de Reservistas (Reservists' Quarters)	1000	Edificio de 2 pisos (2-story building)
49	Cuartel de Retirados (Retirees' Quarters)	1000	Edificio de 2 pisos (2-story building)
50	Cuartel de Reservistas (Reservists' Quarters)	1000	Edificio de 2 pisos (2-story building)

NOTAS (NOTES)

1. Todas las mediciones de longitud y anchura se dan en pies (All measurements of length and width are given in feet).

2. El punto de referencia para las mediciones es el punto central del edificio de Oficinas (The reference point for the measurements is the central point of the Office Building).

3. Las líneas de puntos indican las líneas de propiedad (Dotted lines indicate property lines).

4. Las líneas de trazo y punto indican las líneas de posesión (Dash-dot lines indicate lines of possession).

5. Las líneas de trazo indican las líneas de construcción (Dashed lines indicate construction lines).

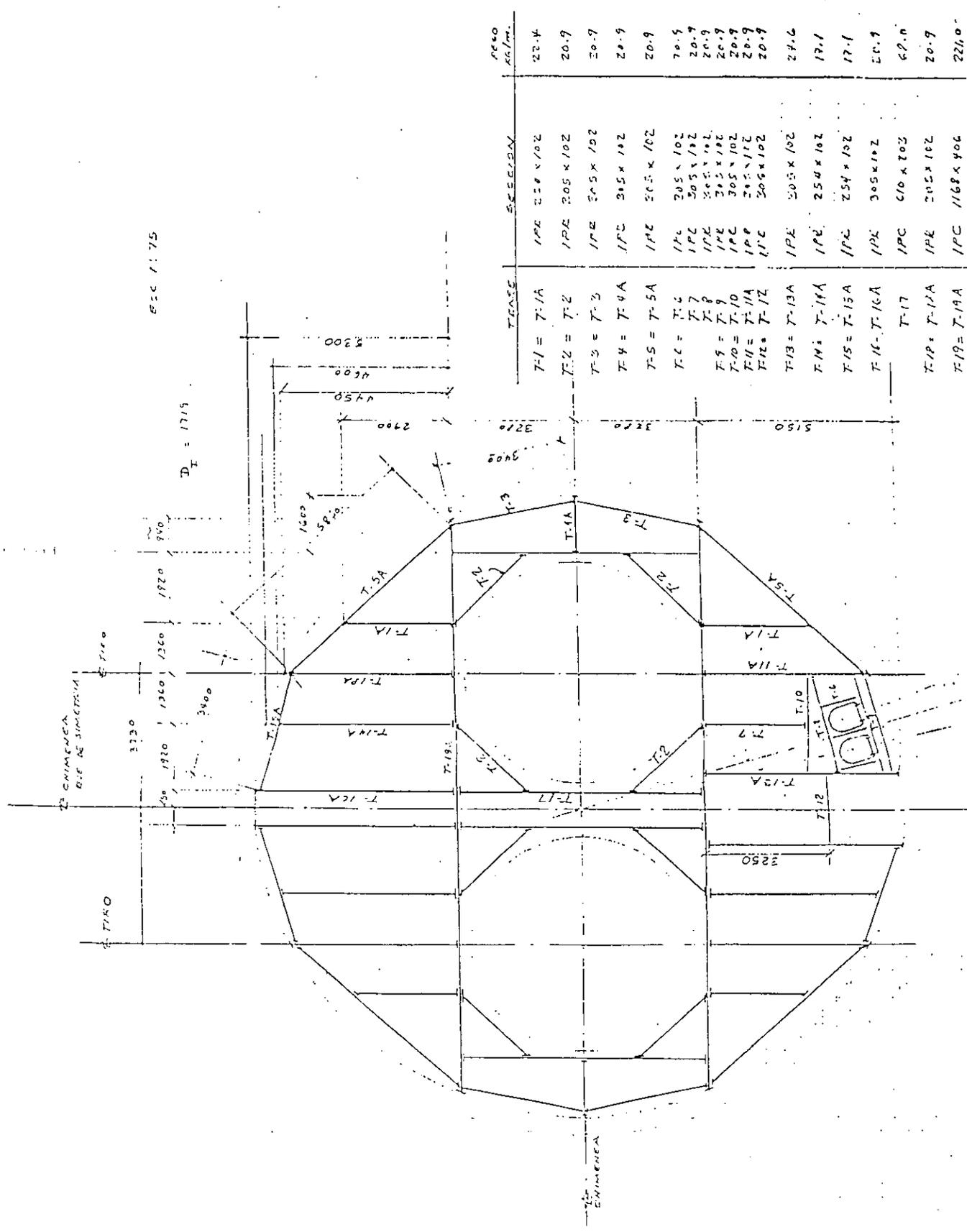
6. Las líneas de trazo y punto indican las líneas de posesión (Dash-dot lines indicate lines of possession).

7. Las líneas de trazo indican las líneas de construcción (Dashed lines indicate construction lines).

8. Las líneas de trazo y punto indican las líneas de posesión (Dash-dot lines indicate lines of possession).

9. Las líneas de trazo indican las líneas de construcción (Dashed lines indicate construction lines).

10. Las líneas de trazo y punto indican las líneas de posesión (Dash-dot lines indicate lines of possession).

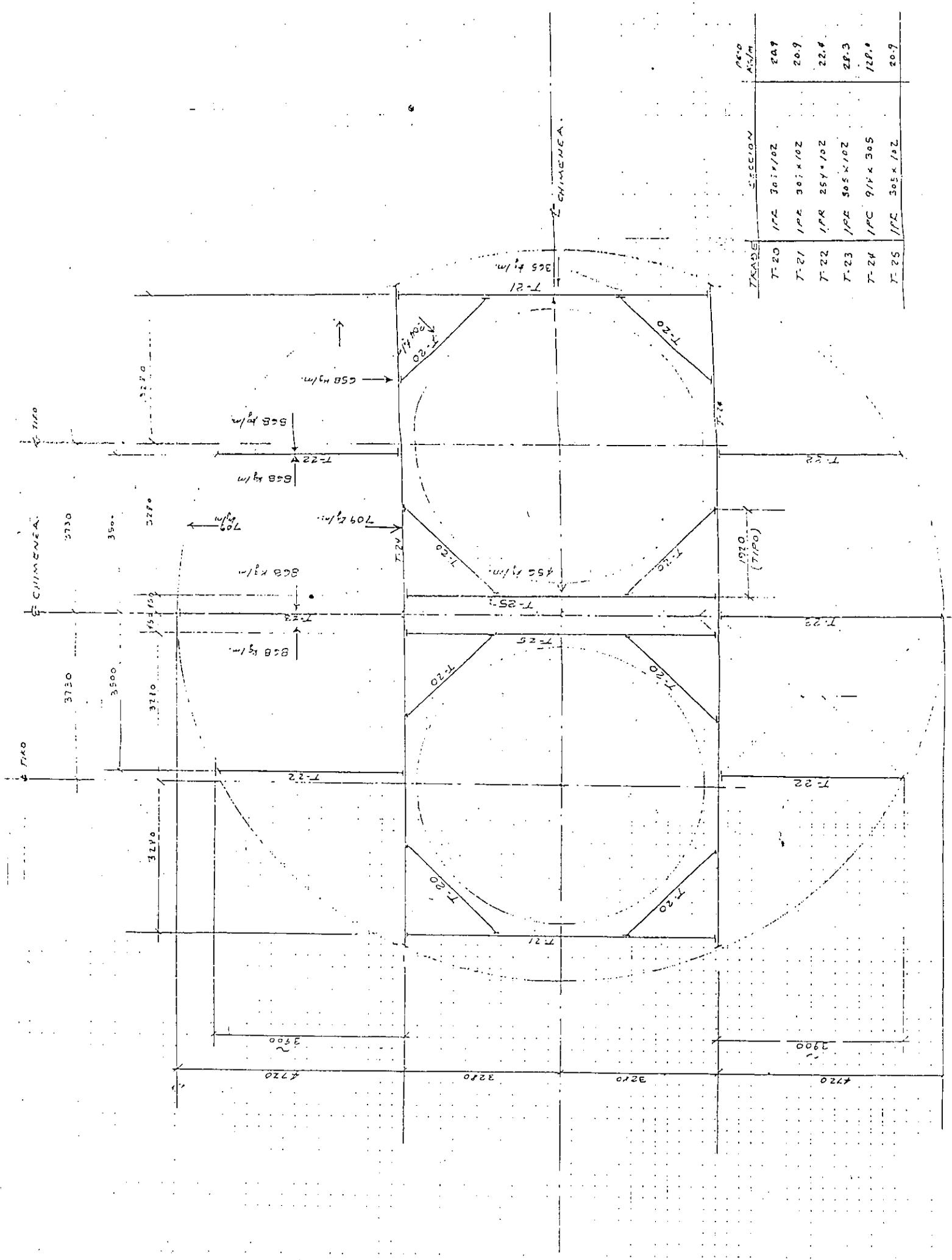


PLATAFORMA INTERIOR N.T.P. 25.600

TRAVE	SECCAO	AREA
T-1 = T-1A	1PE 228 x 102	22.4
T-2 = T-2	1PE 205 x 102	20.9
T-3 = T-3	1PE 205 x 102	20.9
T-4 = T-4A	1PE 215 x 102	21.2
T-5 = T-5A	1PE 205 x 102	20.9
T-6 = T-6	1PE 205 x 102	20.9
T-7 = T-7	1PE 205 x 102	20.9
T-8 = T-8	1PE 205 x 102	20.9
T-9 = T-9	1PE 205 x 102	20.9
T-10 = T-10	1PE 205 x 102	20.9
T-11 = T-11A	1PE 205 x 102	20.9
T-12 = T-12	1PE 205 x 102	20.9
T-13 = T-13A	1PE 205 x 102	20.9
T-14 = T-14A	1PE 254 x 102	25.1
T-15 = T-15A	1PE 254 x 102	25.1
T-16 = T-16A	1PE 305 x 102	30.9
T-17	1PC 610 x 102	62.0
T-18 = T-18A	1PE 205 x 102	20.9
T-19 = T-19A	1PC 1168 x 406	226.0

ACOTACAOES EM MILIMETROS

SK-01



TRAMO	SECCION	ALCANTARILLO	ALCANTARILLO
T-20	20/1108	20/1108	20/1108
T-21	1PR	301 x 108	20/1108
T-22	1PR	251 x 108	20/1108
T-23	1PR	201 x 108	20/1108
T-24	1PC	91/4 x 305	20/1108
T-25	1PC	201 x 108	20/1108
T-26	1PC	201 x 108	20/1108

ESTRUCTURA