

cuadernos de

informes

Instituto Eduardo Torroja

ACI STANDARD 307-79
AMERICAN CONCRETE INSTITUTE
P.O. BOX 4754,
REDFORD STATION
DETROIT, MICHIGAN 48219, EE.UU.

**ESPECIFICACIONES PARA EL PROYECTO Y CONSTRUCCION
DE CHIMENEAS DE HORMIGON ARMADO**

INDICE

CAPITULO 1.—GENERALIDADES.....	2 (4)	CAPITULO 4.—DISEÑO DEL FUSTE	5 (13)
1.1.—Ambito		4.1.—Generalidades	
1.2.—Planos y Cálculos		4.2.—Fuerzas del viento	
1.3.—Reglamentaciones		4.3.—Esfuerzos del viento y del peso propio. Sin aberturas	
CAPITULO 2.—MATERIALES.....	3 (5)	4.4.—Esfuerzos del viento y del peso propio. Con aberturas	
2.1.—Generalidades		4.5.—Diseño sísmico	
2.2.—Cemento		4.6.—Esfuerzos verticales de la temperatura	
2.3.—Aridos		4.7.—Esfuerzos circunferenciales	
2.4.—Aditivos		4.8.—Esfuerzos combinados debidos a las cargas del peso propio, temperatura y viento (o sísmicas)	
2.5.—Armadura metálica		4.9.—Tensiones admisibles	
2.6.—Ensayos de materiales		CAPITULO 5.—CURVAS DEL DISEÑO	11 (31)
2.7.—Especificaciones citadas		5.1.—Generalidades	
CAPITULO 3.—REQUISITOS DE LA CONSTRUCCION	3 (7)	5.2.—Procedimiento	
3.1.—Generalidades			
3.2.—Calidad del hormigón			
3.3.—Pruebas de resistencia			
3.4.—Encofrados			
3.5.—Colocación de armaduras			
3.6.—Colocación del hormigón			
3.7.—Curado del hormigón			
3.8.—Aberturas de acceso			
3.9.—Conductos			
3.10.—Protección para los ci- mientos y los suelos			

ACI STANDARD**ESPECIFICACION PARA EL PROYECTO Y CONSTRUCCION
DE CHIMENEAS DE HORMIGON ARMADO (ACI-307-79)**

Informe del ACI comité 307

ARTHUR B. CASSIDY
PresidenteROBERT O. BARNETT, JR
J. E. BLANCHARD
H. P. BONNET
KHUSHI R. CHUGH
CHARLES W. CRANE
HOHN J. DEANS
CLARENCE A. DENNISMARIUS DIVER
S. J. FANG
S. A. FLETCHER
U. G. HENDERSON
HUGHARD W. HIGHT
SHINN INOUYE
EUGENE A. LONGT. J. LYNCH
OSCAR A. ROCHA
W. S. RUMMAN
PHILIP G. SIKES
W. W. STELLE
B. B. TYUS
WINSTON WEN-FOO YAU

Este informe proporciona los requisitos del material, construcción y proyecto para las chimeneas de hormigón armado. El informe expone las acciones recomendadas para el proyecto de chimeneas de hormigón armado y los métodos recomendados para determinar los esfuerzos en el hormigón y armaduras resultantes de estas acciones. Se incluyen gráficos con curvas que sirven de ayuda para la solución rápida de las fórmulas especificadas. Aunque el método de análisis se aplica principalmente a las chimeneas, se puede utilizar para otras secciones transversales circulares huecas, con o sin aberturas, donde el espesor de la lámina sea pequeño en relación con el diámetro.

Se recomiendan fórmulas para la determinación del gradiente de la temperatura a través del hormigón, resultante de la diferencia de la temperatura de los gases en el interior de la chimenea y la atmósfera circundante, junto con métodos para determinar los esfuerzos en el hormigón, en la armadura, tanto vertical como circunferencialmente, debidos al gradiente de la temperatura a través del hormigón.

Se incluyen en la especificación fórmulas para la combinación de los esfuerzos debidos a las acciones del peso propio y del viento (o sísmicas) con los esfuerzos debidos a la temperatura, junto con las tensiones admisibles recomendadas en el hormigón y armaduras para las diversas combinaciones de esfuerzos.

La especificación se refiere a los «Requisitos del Código de la Construcción para Hormigón Armado» del ACI (ACI 318) para los requisitos aplicables, más otras provisiones para los requisitos especiales para chimeneas de hormigón. Los requisitos sobre construcción en general se ajustan a ACI 318. Sin embargo, las suposiciones sobre el diseño se basan más en los procedimientos de resistencia de servicio que de resistencia final.

Palabras clave: Chimeneas, resistencia a la compresión; construcción de hormigón; cargas muertas; construcciones anti-sísmicas; construcción con encofrado; cimentaciones; revestimientos para temperaturas altas; cargas (tensiones); momentos; orificios; control de calidad; hormigón armado; acero de refuerzo; especificaciones; esfuerzos; análisis estructural; diseño estructural; temperatura; gradientes térmicos; presión del viento.

CAPITULO 1.—GENERALIDADES

1.1.—Ambito

Esta especificación cubre el cálculo de las tensiones de trabajo y la ejecución de chimeneas de hormigón armado. No se incluye el diseño con hormigón pretensado. La especificación incluye las disposiciones para los conductos y su efecto sobre los esfuerzos inducidos en el fuste de hormigón, debidos a la temperatura.

1.2.—Planos y cálculos

Los planos de la chimenea se deberán preparar mostrando todas las características de la obra, incluyendo la resistencia de proyecto del hormigón, el espesor de la pared del fuste de hormigón, el tamaño y posición de todas las armaduras, todos los detalles y dimensiones del conducto de la chimenea y la información completa sobre todos los accesorios de la chimenea. Si el proyecto es realizado por el contratista de la chimenea, deberá suministrar, si se le solicita, copias de los cálculos sobre los que se basan los planos del proyecto. Es-

tos planos y cálculos deberán ser aprobados por el ingeniero representante de la propiedad, antes de que se emprenda cualquier trabajo de construcción.

1.3.—Reglamentaciones

1.3.1.—El proyecto y construcción de la chimenea y de su cimentación deberán estar de acuerdo con los requisitos de todas las ordenanzas y reglamentaciones oficiales en vigor, con la salvedad de que en donde dichos requisitos sean menos conservadores (con menor coeficiente de seguridad) que los requisitos comparables de esta especificación, ésta deberá prevalecer.

1.3.2.—Se presta particular atención a la importancia de observar las recomendaciones de la Federal Aviation Agency respecto de las alturas de la chimenea y del balizamiento del obstáculo que supone la chimenea para la aviación. Deberá ser de la responsabilidad de la Propiedad el procurar esta información.

CAPITULO 2.—MATERIALES

2.1.—Generalidades

Todos los materiales y los ensayos de los mismos deberán estar de acuerdo con los «Requisitos del Código de la Construcción para el Hormigón Armado» del Instituto Americano del Hormigón (ACI 318) salvo que se especifique de otro modo.

2.2.—Cemento

El cemento deberá estar de acuerdo con las «Especificaciones para el Cemento Portland» (ASTM C 150) del tipo al que se hace referencia en las especificaciones de la obra. La misma marca y tipo de cemento se deberá utilizar en toda la construcción de la chimenea.

2.3.—Aridos

2.3.1.—Los áridos del hormigón deberán estar de acuerdo con las «Especificaciones para los Aridos del Hormigón» (ASTM C 33).

2.3.2.—El tamaño máximo del árido grueso no deberá ser mayor de 1/8 de la dimensión más estrecha entre encofrados, ni mayor de 1/2 de la distancia libre mínima entre las barras de refuerzo.

2.4.—Aditivos

2.4.1.—Los aditivos inclusores de aire deberán estar de

acuerdo con las «Especificaciones para los Aditivos Inclusores de Aire para Hormigón» (ASTM C 260).

2.4.2.—Cuando se emplean agregados aceleradores y retardadores, éstos serán conformes con ASTM C 494.

2.4.3.—Las cenizas volantes, cuando se exijan en la especificación del trabajo, deberán cumplir con las «Especificaciones para las cenizas volantes y puzolanas naturales calcinadas o en crudo para su utilización en hormigón de cemento portland» (ASTM C 618).

2.5.—Refuerzo de armaduras

2.5.1.—Las barras de refuerzo deberán estar de acuerdo con las «Especificaciones para las barras de acero de lingote deformadas para refuerzo del hormigón» (ASTM A 615), siendo la calidad o calidades a las que se haga referencia en las especificaciones de la obra.

2.5.2.—El acero estructural para construcciones deberá estar de acuerdo con las «Especificaciones para el diseño, fabricación y erección de edificios de acero estructural del Instituto Americano de Construcción de Acero».

2.6.—Ensayos de los materiales

2.6.1.—Los ensayos de los materiales en la obra deberán ser realizados por personal competente experimentado, siempre que las especificaciones de la propiedad o los técni-

cos en la construcción autorizados los requieran. El coste de este trabajo deberá ser sufragado por la Propiedad.

2.6.2.—Los ensayos del material se deberán realizar de acuerdo con la normalización ASTM, tal como se indica en esta especificación. Los registros completos de dichos ensayos deberán estar disponibles para su inspección durante el curso de la obra y una serie completa de dichos datos deberá entregarse a la Propiedad a la aceptación de la obra.

2.6.3.—Para el ensayo en obra del hormigón, ver Sección 3.3.

2.7.—Especificaciones citadas

2.7.1.—Las referencias citadas en esta Especificación se indican más abajo, con sus designaciones de serie, incluso su año de adopción o revisión y se declaran formar parte de esta Especificación como si estuvieran incluidas en su totalidad en ella.

2.7.1.1.—Instituto Americano del Hormigón.

ACI 211.1-77 Uso recomendado para la selección de proporciones para hormigón normal y pesado.

ACI 304-73 Uso recomendado para la medición, mezcla, transporte y colocación de hormigón.

ACI 318-77 Requisitos en el Código de la Construcción para el hormigón armado.

2.7.1.2.—Sociedad Americana de Ensayos y Materiales.

A 615-76 Especificación normal para barras corrugadas de acero para armaduras del hormigón.

C 31-69 Método estándar para la producción y curado de muestras de hormigón en obra para comprobar su resistencia a la compresión y a la flexión.

C 33-77 Especificaciones estándar para agregados del hormigón.

C 150-77 Especificaciones estándar para el cemento portland.

C 172-71 Método estándar para tomar muestras de hormigón reciente.

C 260-74 Especificaciones estándar para agregados de inclusores de aire en hormigón.

C 309-74 Especificaciones para compuestos líquidos para la formación de membranas para curado del hormigón.

C 494-77 Especificaciones estándar para agregados químicos para hormigón.

C 618-77 Especificación provisional para puzolanas de cenizas muy finas y puzolanas naturales crudas o calcinadas para uso en hormigón hecho de cemento portland.

2.7.1.3.—Instituto Americano de Construcciones de Acero Especificación para el diseño, fabricación y montaje de acero estructural para edificios. 1969.

2.7.1.4.—Conferencia Internacional de Oficiales de la Construcción.

Código Uniforme de la Construcción. 1973.

CAPITULO 3.—REQUISITOS DE LA CONSTRUCCION

3.1.—Generalidades

La calidad del hormigón, los métodos de determinación de la resistencia del hormigón, las pruebas «in situ», las proporciones y la consistencia del hormigón, la mezcla y colocación, y los encofrados y detalles de la construcción, deberán estar de acuerdo con los «Requisitos del Código de la Construcción para Hormigón Armado» del Instituto Americano del Hormigón (ACI 318), en donde sean aplicables, salvo cuando se especifique de otro modo.

3.2.—Calidad del hormigón

3.2.1.—Ningún hormigón utilizado en la construcción de una chimenea de hormigón armado deberá tener una relación agua-cemento que exceda de 0,53 en peso, incluyendo la humedad libre de los áridos.

3.2.2.—La resistencia especificada del hormigón no deberá ser menor de 3.000 psi (210 kg/cm²) a los 28 días.

3.2.3.—El hormigón del fuste debe contener aire ocluido de acuerdo con el «uso recomendado para la selección de las proporciones del hormigón» (ACI 211), de no ser excluido en la especificación de la obra.

3.3.—Pruebas de resistencia

3.3.1.—Las muestras, de las que se moldean las probetas de ensayo a la compresión, deberán obtenerse de acuerdo con el «Método de muestreo del hormigón reciente» (ASTM C 172). Las probetas para comprobar la idoneidad de la dosificación para la resistencia del hormigón, deberán hacerse y curarse de acuerdo con el «Método de realización y curado de las probetas de los ensayos a flexión y a compresión del hormigón en obra» (ASTM C 31).

3.3.2.—Se harán como mínimo dos juegos de tres muestras por turno de ocho horas (encofrado deslizante) o por tirada (encofrado trepador) del hormigón colocado en el fuste de la chimenea. Se probará un cilindro de cada juego después de 7 días, y dos después de 28 días.

3.3.3.—El envejecimiento del ensayo anteriormente especificado deberá hacerse para cualquier cemento portland distinto del Tipo III. Si se utiliza el Tipo III de cemento (u otros tipos con aditivos acelerantes) los ensayos deberán realizarse a los 3, 7 y 14 días, respectivamente.

3.3.4.—La realización y el ensayo de las probetas en obra deberán ser llevados a cabo por personal experimentado competente. El coste para este trabajo deberá ser sufragado por la Propiedad, para asegurar la calidad del hormigón.

3.4.—Encofrados

3.4.1.—Los encofrados para el fuste de la chimenea pueden ser metálicos o de madera. Si se utilizan encofrados de madera sin forrar, deberán ser de un material seleccionado con juntas machihembradas y deberán mantenerse continuamente húmedos para evitar la contracción y alabeo debidos a la exposición a los elementos. Se puede utilizar un aceite para encofrados que no manche, pero no se debe emplear aceite si la chimenea ha de pintarse.

3.4.2.—Los encofrados deberán estar suficientemente ajustados para impedir la fuga de mortero.

3.4.3.—Ninguna carga de construcción que exceda de las cargas de diseño estructural deberá apoyarse sobre cualquier parte no apuntalada de la estructura bajo construcción. Ninguna carga de construcción deberá apoyarse, ni ningún apuntalamiento quitarse de cualquier parte de la estructura bajo construcción, hasta que esa parte de la estructura haya alcanzado suficiente resistencia para soportar su peso propio y el de las cargas en ella colocadas.

3.4.4.—Los encofrados deberán retirarse de tal manera que se asegure la completa seguridad de la estructura. Los encofrados se pueden quitar después de que el hormigón haya endurecido lo suficiente para mantener su forma sin fisurarse y para soportar las cargas que le puedan afectar. Los encofrados del piso desmontables, los laterales de vigas y viguetas y los encofrados de columna y verticales similares, se pueden retirar después de que el hormigón tenga una resistencia de 2.000 psi (140 kg/cm²), según sea determinado por los ensayos de probetas (la construcción de encofrados deslizantes no está cubierta por la «Sección 3.4.4.»).

3.4.5.—No se permitirá el zunchado entre los encofrados interior y exterior de la lámina de la chimenea.

3.5.—Colocación de las armaduras

3.5.1.—La armadura circunferencial deberá colocarse envolviendo a las barras verticales, y firmemente asegurada por alambre o soldadura a ellas, a intervalos de no más de 2

pies (60 cm) vertical y horizontalmente. Deberá prestarse particular atención al estirado y asegurado de la armadura circunferencial, de modo que no se pueda combar o desplazarse durante la puesta en obra del hormigón produciendo un recubrimiento menor del mínimo especificado.

3.5.2.—Los empalmes de las armaduras verticales, por encima de los encofrados para el fuste, deberán disponerse al tresbolillo y realizarse de tal modo que se impida la rotura de la adherencia entre la armadura y el hormigón colocado recientemente.

3.5.3.—El recubrimiento del hormigón sobre el refuerzo circunferencial no deberá ser menor de 2 pulgadas (5 cm).

3.6.—Colocación del hormigón

3.6.1.—Debe prestarse particular atención a la colocación del hormigón, debido al delgado espesor de la pared y a la presencia de acero de armaduras. La consolidación del hormigón se deberá realizar mediante vibración. La eliminación del aire y agua en la superficie del encofrado deberá realizarse mediante picado o vibración. Todas las superficies de hormigón endurecidas deberán limpiarse de lechada de cemento y de suciedad, y habrán de humedecerse antes de la colocación del nuevo hormigón. Las barras de armadura deberán estar exentas de hormigón endurecido, grasa, polvo y óxido suelto, antes de que se coloque hormigón alrededor de las mismas.

3.6.2.—En el fuste de la chimenea no se deberá utilizar ninguna junta de construcción vertical y las horizontales deberán mantenerse con un espaciamiento aproximadamente uniforme a través de toda la altura de la chimenea.

El hormigón se colocará de acuerdo con el «uso recomendado para la medición, mezcla, transporte y vertido del hormigón» (ver ACI 304). El hormigón se colocará por tongadas no mayores de 16 pulgadas (40 cm).

3.7.—Curado del hormigón

3.7.1.—Inmediatamente después de que se haya elevado el encofrado exterior, deberá realizarse todo el raseado y acabado necesarios del hormigón. Tan pronto como se haya completado el tratamiento superficial, para cada hormigonada, ambas caras del hormigón se deberán revestir con un compuesto de curado con membrana.

3.7.2.—El compuesto deberá ser del tipo a base de resina, cumpliendo con las normas ASTM C 309 (no se permitirá un tipo a base de cera), deberá aplicarse de estricto acuerdo con las instrucciones del fabricante. Si han de aplicarse revestimientos al hormigón, el compuesto de curado deberá ser de un tipo compatible con estos revestimientos.

3.8.—Aberturas de acceso

3.8.1.—Deberán proveerse adecuadas puertas de acceso en la base de la chimenea, según se requiera en las especifica-

ciones de funcionamiento, para permitir la extracción del hollín o de las cenizas volantes y para permitir la inspección del interior de la chimenea. Si la chimenea tiene un conducto autoportante independiente, deberá proveerse de una puerta para el fuste y otra para el conducto.

3.8.2.—Si se requieren durante la construcción, se pueden realizar aberturas de acceso provisionales en el fuste de hormigón. Estas deberán diseñarse, tal como se especifica más adelante, para el caso de aberturas permanentes. Antes de la terminación de la chimenea, las aberturas de acceso provisionales se deberán rellenar con hormigón de la misma mezcla utilizada para el fuste y deberán acabarse de tal modo que armonice con las superficies adyacentes, a menos que las especificaciones de la obra requieran un material más fácil de quitar, tal como ladrillo.

3.9.—Conducto

3.9.1.—Cuando los conductos interiores se apoyan sobre ménsulas de hormigón, hormigonadas solidariamente al fuste, deberán estar estas ménsulas taladradas verticalmente en todo su canto cada 3 pies (1 m) aproximadamente en hori-

zontal, para reducir el efecto de los esfuerzos de la temperatura producidos por el cambio brusco en el espesor del fuste. Las ménsulas deberán reforzarse adecuadamente y habrá de considerarse el efecto de su carga excéntrica en el diseño del hormigón y las armaduras del fuste de la chimenea.

3.10.—Protección de las cimentaciones y de las placas

En las chimeneas que conducen gases recalentados, deberá prestarse consideración a la protección contra el calor radiante de los gases para cualquier parte de la cimentación, se esté expuesta dentro de la chimenea y placas de hormigón, bien en la base de las chimeneas o apoyado en el fuste de la chimenea*.

* Se ha demostrado que el calor radiado por los gases produce altas temperaturas en la superficie superior de la cimentación, si no está aislada. Incluso en las modernas centrales energéticas, con temperaturas moderadas de los gases del humo, este calor radiante puede ser suficiente para agrietar la cimentación de la chimenea, aunque las aberturas del canal de humos, o humero, se introduzcan en la chimenea a una distancia apreciable por encima de la cimentación.

Una protección satisfactoria para la cimentación es un aislamiento ventilado en la forma de rasilla hueca cubierta con ladrillo aislante o ladrillo refractario, dependiendo de la temperatura. Las cavidades de la rasilla hueca comunican directamente con la atmósfera por medio de conductos de aire, cuando la chimenea tenga conducto, o mediante aberturas en el fuste, cuando la chimenea no tenga conducto.

CAPITULO 4.—DISEÑO DEL FUSTE DE LA CHIMENA

4.1.—Generalidades

4.1.1.—El fuste de la chimenea deberá estar diseñado para resistir los esfuerzos resultantes del peso de la chimenea, el efecto de la temperatura, tanto vertical como circunferencialmente y el efecto del viento o de los movimientos sísmicos, el que sea mayor.

4.1.2.—Los esfuerzos se deberán obtener y combinar de acuerdo con los métodos descritos más adelante y no deberán exceder de las tensiones admisibles especificadas en la Sección 4.9.

4.1.3.—El espesor mínimo del fuste, para cualquier chimenea con un diámetro interior de 28 pies (8,50 m) o menor, deberá ser de 8 pulgadas (20 cm). Cuando el diámetro interno exceda de 28 pies (8,50 m) el espesor mínimo se deberá aumentar en 1/4" (0,635 cm) por cada 2 pies (60 cm) de incremento en el diámetro interior.

4.1.4.—La armadura horizontal para los 7 1/2 pies (2,30 m) superiores de la chimenea deberá ser el 100 % mayor que la requerida por la Sección 4.7.

4.1.5.—Un fuste de chimenea que soporta cargas del conducto interior sobre ménsulas, deberá cumplir con los requisitos de tensiones admisibles de esta especificación, tanto en construcción como en servicio.

4.1.6.—Los siguientes puntos estarán en concordancia con el «Código de requisitos para hormigón armado en edificación» (ACI 318).

4.1.6.1.—Los anclajes y solapes de las armaduras.

4.1.6.2.—La evaluación del módulo de elasticidad del hormigón E_c y del módulo de elasticidad de las armaduras E_s , y de $n = \frac{E_s}{E_c}$

4.2.—Las fuerzas del viento

4.2.1.—Las fuerzas del viento sobre una chimenea de sección transversal circular se deberán tomar como las presiones horizontales resultantes sobre su área proyectada, consideradas como bandas de carga uniforme aplicadas a la chimenea dentro de las zonas de altura y no deberán ser menores que la presión de diseño especificada en la tabla 4.2.1. El área de presión del viento en la tabla se deberá seleccionar para la localización en la que ha de construirse la chimenea, a partir de la última edición del «Código Uniforme de la Construcción» (UBC).

En localizaciones especiales, donde los registros o la experiencia indican que estas presiones son inadecuadas, se pueden utilizar presiones más elevadas según el criterio de los ingenieros de la Propiedad.

TABLA 4.2.1.—PRESIONES DE DISEÑO
PARA CHIMENEA CON SECCIONES
TRANSVERSALES CIRCULARES

Presión del viento, en libras por pie ² = 4,882 kp/m ² (Mapa de áreas según UBC)					
Zona de altura, en pies	30 ó menos	35	40	45	50
0 - 100 (0 - 30,48 m)	23	23	26	29	32
100 - 500 (30,48 m 152,40 m)	31	33	36	42	45
500 - 1.200 (152,40 m 365 m)	34	36	42	48	54
1.200 y más (365 m y más)	36	42	48	54	60

4.2.2.—Las especificaciones de la obra deben indicar la zona de presión del viento a utilizar para el diseño de la chimenea para evitar malas interpretaciones de localización del mapa indeterminadas.

4.3.—Tensiones por viento y peso propio (sin aberturas)

4.3.1.—En las secciones horizontales, en donde no existen aberturas en el fuste de la chimenea, las tensiones máximas en el hormigón, debidas a la acción combinada de las cargas del peso propio y del viento, se deberán calcular por las ecuaciones (14) y (17).

a. Tensión en el diámetro medio de la pared del fuste de la chimenea:

$$f'_{cw} = \frac{W (1 - \cos \alpha)}{2rt [(1 - p) (\sin \alpha - \alpha \cos \alpha) - np \pi \cos \alpha]} \quad (14)^*$$

b. Tensión en el diámetro exterior de la pared del fuste de la chimenea:

$$f_{cw} = f'_{cw} \left[1 + \frac{t}{2r (1 - \cos \alpha)} \right] \quad (17)$$

en donde:

W = peso de la chimenea por encima de la sección considerada, en libras,

r = radio medio de la pared del fuste de la chimenea en la sección considerada, en pulgadas,

t = espesor de la pared del fuste de la chimenea en la sección considerada, en pulgadas,

p = relación del área total de la armadura vertical al área total del hormigón de la pared del fuste de la chimenea, en la sección considerada,

n = relación del módulo de elasticidad de la armadura al módulo de elasticidad del hormigón.

α = mitad del ángulo central formado por el eje neutro con una cuerda del círculo de radio r.

* Se supone $\alpha < 180^\circ$. Cuando $\alpha = 180^\circ$, las fórmulas dadas no se aplican. En su lugar se emplea el método de área transformada.

El ángulo α se puede determinar a partir de las curvas de las figuras 5.1. a la 5.6. del Capítulo 5, inclusive, de la siguiente manera:

Determinar p y e/r en donde $e = M/W$.

Con estos valores de p y de e/r, se lee el valor de α a partir de estas curvas que se trazan para varios valores de n cuando $\beta = 0$.

En donde:

M = momento flector en la sección considerada debido a la acción del viento sobre aquella parte de la chimenea situada por encima de la sección, en pulg. \times lib.

β = mitad del ángulo central formado por la abertura con una cuerda en el círculo de radio r.

4.3.2.—En las secciones horizontales en donde no existan aberturas en el fuste de la chimenea, el esfuerzo máximo en la armadura vertical, en el lado de barlovento (hacia el viento), de la chimenea f_{sw} debido a la acción combinada de las cargas del peso propio y del viento se deberá calcular por la ecuación (20):

$$f_{sw} = n f'_{cw} \left[\frac{1 + \cos \alpha}{1 - \cos \alpha} \right] \quad (20)$$

en donde n, α y f'_{cw} , son las que se determinaron anteriormente.

4.4.—Tensiones por viento y peso propio (con aberturas)

4.4.1.—En las secciones horizontales en donde una abertura única o dos aberturas se presentan diametralmente opuestas entre sí, en el fuste de la chimenea, la tensión máxima en el hormigón, debido a la acción combinada de las cargas del peso propio y del viento se deberá calcular por las ecuaciones (13) y (15).

a. Tensión en el diámetro medio de la pared del fuste de la chimenea:

$$f'_{cw} = \frac{W (\cos \beta - \cos \alpha)}{2rt [(1 - p) (\sin \alpha - \alpha \cos \alpha) - (1 - p + np) (\sin \beta - \beta \cos \alpha) - np \pi \cos \alpha]} \quad (13)$$

b. Tensión en el diámetro exterior de la pared del fuste de la chimenea:

$$f_{cw} = f'_{cw} \left[1 + \frac{t}{2r \cos \beta (\cos \beta - \cos \alpha)} \right] \quad (15)$$

En donde W, r, t, p y n representan los valores para la sección considerada, tal como se definieron anteriormente en la Sección 4.3, y α se determina a partir de las curvas de las figuras 5.2 a 5.5 y 5.7 a 5.10 inclusivos, utilizando los apropiados valores de n y β .

Para dos aberturas desiguales, diametralmente opuestas entre sí, utilícese la mayor abertura para la determinación de β .

Para valores de β intermedios a los valores para los cuales se han trazado las curvas, hágase una interpolación entre las curvas dadas.

4.4.2.—En las secciones horizontales en donde se presenta una abertura única o dos aberturas diametralmente opuestas entre sí en el fuste de la chimenea, la tensión máxima en la armadura vertical en el lado del viento de la chimenea f_{sw} , debido a la acción de las cargas del peso propio y del viento, se deberá calcular por la ecuación (19).

$$f_{sw} = n f'_{cw} \left[\frac{1 + \cos \alpha}{\cos \beta - \cos \alpha} \right] \quad (19)$$

4.4.3.—En las secciones horizontales donde se presentan dos aberturas iguales, pero no diametralmente opuestas entre sí en el fuste de la chimenea, las secciones se deberán investigar con el viento desde dos direcciones, para determinar los esfuerzos máximos. Se deberán utilizar las ecuaciones (13), (15) y (19) para calcular los esfuerzos resultantes de un viento en una dirección a lo largo del diámetro a través de una de las aberturas.

Las tensiones máximas de las cargas combinadas del peso propio y del viento, resultantes de un viento en una dirección a lo largo del eje de simetría entre dos aberturas, se deberán calcular por las ecuaciones (54), (55) y (56).

$$f'_{cw} = \frac{W (1 - \cos \alpha)}{2rt B} \quad (54)$$

En donde B se obtiene de la ecuación (53):

$$f_{cw} = f'_{cw} \left[1 + \frac{t}{2r (1 - \cos \alpha)} \right] \quad (55)$$

$$f_{sw} = n f'_{cw} \left[\frac{1 + \cos \alpha}{1 - \cos \alpha} \right] \quad (56)$$

en donde las aberturas están separadas un ángulo 2ϕ , donde ϕ es menor de 90° y todos los demás valores son tal como se definen en los párrafos precedentes.

Antes de resolver las ecuaciones (54), (55) y (56), hay que resolver la (53) para e/r , utilizando el valor de p determinado en la ecuación (13).

$$e/r = A/B \quad (53)$$

donde:

Cuando el eje neutro se halla fuera de las aberturas:

$$A = 1/2 (1 - p) (\alpha - \sin \alpha \cos \alpha) - (1 - p + np) (\beta + \sin \beta \cos \beta \cos 2\phi) - 2 \cos \alpha \sin \beta \cos \phi + 1/2 np \pi$$

$$B = (1 - p) (\sin \alpha - \alpha \cos \alpha) - 2 (1 - p + np) (\sin \beta \cos \phi - \beta \cos \alpha) - np \pi \cos \alpha$$

Cuando el eje neutro se halla dentro de las aberturas:

$$A = 1/2 (1 - p) \sin \alpha \cos \alpha - (1 - p + np) [1/4 (\sin 2\alpha - \sin 2\theta) - \theta/2 + \sin \theta \cos \alpha] + 1/2 np (\pi - \alpha + \sin 2\alpha)$$

$$B = (1 - p + np) (\sin \theta - \theta \cos \alpha) - np [(\pi - \alpha) \cos \alpha + \sin \alpha]$$

donde $\theta = \phi - \beta$

Compárese el resultado de (53) con el e/r real. Si no concuerdan, varíese α manteniendo p constante, para satisfacer la ecuación (53).

Si las tensiones obtenidas en las ecuaciones (54), (55) y (56) superan los límites permisibles definidos en la Sección 4.9, p se debe incrementar y variar α para satisfacer la ecuación (53).

En donde el tramo de fuste comprendido entre las aberturas sea crítico en relación con la altura, se debe calcular como un pilar.

Donde existan más de dos aberturas habrá de desarrollar un diseño apropiado correspondiente a los casos cubiertos por esta especificación.

4.4.4.—Además de las armaduras determinadas por las ecuaciones de la estática y de la temperatura, deberá proveerse un refuerzo extra en los lados, partes inferiores y superior, y en las esquinas de estas aberturas, tal como se especifica más adelante. Este refuerzo extra se deberá colocar cerca de la superficie exterior de la pared de la chimenea, tan próximo a la abertura como permita el apropiado espaciado de las barras. A menos que se especifique de otro modo, todo refuerzo extra deberá extenderse más allá de la abertura en una distancia suficiente para garantizar la adherencia de las barras.

4.4.5.—A cada lado de la abertura, el refuerzo vertical adicional deberá tener un área total igual a la de la armadura de diseño establecida para una mitad de la anchura de la abertura.

4.4.6.—En las partes inferior y superior de cada abertura, se deberá colocar un refuerzo adicional teniendo un área por lo menos igual a una mitad de la armadura circunferencial de diseño establecido, interrumpido por la abertura, pero el área A_s de este acero adicional en la parte superior, y también en la parte inferior, no deberá ser menor que la dada por la siguiente fórmula:

$$A_s = \frac{0.09 f_c t S}{32,000^*} \quad (65)$$

donde:

t = espesor del hormigón en la abertura, en pulgadas,

S = anchura de la abertura, en pulgadas

* Este valor se aplica cuando se utiliza el acero de grado 60 y se reducirá en 8,33 % y 16,67 % para aceros de grado 50 y 40 respectivamente.

f_c = esfuerzo vertical de compresión en el hormigón debido al peso muerto más viento (o terremoto) en el exterior de la pared del fuste de la chimenea a nivel del umbral de la abertura, en libras/pulgada².

La mitad de este refuerzo extra se deberá extender completamente alrededor de la circunferencia de la chimenea y la otra mitad se deberá extender más allá de la abertura, en una distancia suficiente para asegurar la adherencia de las barras. Este acero se deberá colocar tan cerca del orificio como sea posible, pero a una altura que no exceda del doble del espesor t .

4.4.7.—Se deberá colocar en cada esquina de la abertura una armadura diagonal con un área total en pulgadas cuadradas, no menor de 1/5 del espesor de la pared exterior en pulgadas.

4.4.8.—Las paredes de contrafuerte no se deberán incorporar en el diseño del fuste, en las aberturas.

4.5.—Diseño sísmico

4.5.1.—*Generalidades:* Las chimeneas en área sísmica se deberán diseñar y construir para soportar como mínimo las fuerzas sísmicas laterales dadas en el presente informe *, suponiendo que las fuerzas pueden actuar en cualquier dirección. La especificación de la obra debe indicar el coeficiente z de la zona sísmica aplicable.

4.5.2.—*Nomenclatura:* La siguiente nomenclatura se deberá aplicar a esta sección:

- C^* = coeficiente numérico para el cortante de la base
 D = diámetro exterior del fuste de la chimenea en la parte superior, en pies
 D_1 = diámetro exterior del fuste de la chimenea en la base, en pies
 E = módulo de elasticidad del hormigón, en psi (libras por pulg.²)
 F_h = fuerza lateral aplicada a un nivel designado como «h», en libras
 H = altura de la chimenea por encima de la base, en pies
 h = altura por encima de la base para el nivel designado como «h», en pies
 h_x = altura por encima de la base para el nivel designado como «x», en pies
 J = coeficiente numérico para el momento de la base
 J_x = coeficiente numérico para el momento en un nivel designado como «x»

* Un análisis racional basado sobre los cálculos de la respuesta modal se recomienda para el diseño final.

‡ El coeficiente C en esta especificación es equivalente a KC en el Uniform Building Code.

$\Sigma w_h h$ = suma de los productos de todos los w_h h para la chimenea

M = momento en la base

M_x = momento en cualquier nivel «x»

T = período fundamental de vibración de la chimenea, en segundos

U = factor de utilización variando de 1,3 a 2,0 (véase el comentario)

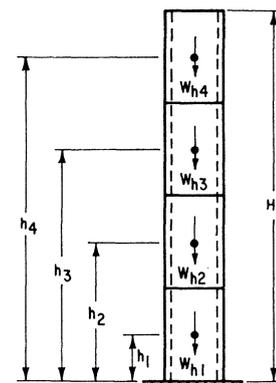
V = cortante total en la base

W = peso total de la chimenea sin conducto interior, en libras

W_1 = peso total de la chimenea incluyendo el conducto interior soportado por ménsulas, en libras

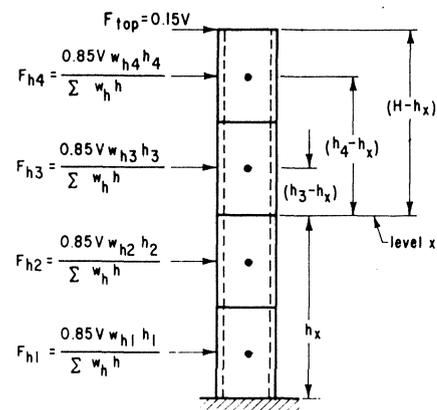
w_h = aquella parte de W o W_1 , que se asigna al nivel designado como «h»

Z = coeficiente de zona* para la magnitud del movimiento sísmico, que no deberá ser menor de 0,3 para la zona 1, 0,5 para la zona 2 y 1,0 para la zona 3.



$$W = w_{h1} + w_{h2} + w_{h3} + w_{h4}$$

$$\Sigma w_h h = w_{h1} h_1 + w_{h2} h_2 + w_{h3} h_3 + w_{h4} h_4$$



$$M_x = J_x [0.15V (H-h_x) + \Sigma F_h (h-h_x)]$$

where, $\Sigma F_h (h-h_x) = F_{h4} (h_4-h_x) + F_{h3} (h_3-h_x)$

* A partir del mapa de los Estados Unidos que muestra las zonas de aproximadamente igual probabilidad sísmica en la última edición del Uniform Building Code. Las especificaciones de la obra deben indicar la zona a utilizar para el diseño (así como el «factor de utilización»).

4.5.3.—*Cortante de la base:* El cortante de la base o la fuerza lateral total se deberá calcular por la ecuación (58):

$$V = ZUCW \text{ ó } V = ZUCW_1 \quad (58)$$

El valor de C se deberá calcular por la ecuación (59):

$$C = 0.1 / \sqrt[3]{T} \quad (59)$$

El valor del período fundamental de vibración de las chimeneas sin conducto se puede calcular aproximadamente por la ecuación (60):

$$T = \frac{1.8 H^2}{(3D_1 - D) \sqrt{E}} \quad (60)$$

Si la chimenea tiene un conducto interior soportado por el fuste pero no siendo estructuralmente una parte integral del mismo, T se deberá multiplicar por el factor:

$$\sqrt{\frac{W_1}{W}} \quad (61)$$

4.5.4.—*Distribución de las fuerzas horizontales:* El 15 % de la fuerza horizontal total V se deberá considerar concentrada en la parte superior de la chimenea. El resto deberá distribuirse de acuerdo con la ecuación (62):

$$F_h = \frac{0.85V w_h h}{\sum w_h h} \quad (62)$$

4.5.5.—*Momentos:* El momento de diseño en cualquier nivel de la chimenea se deberá calcular por la ecuación (63):

$$M_x = J_x [0.15V (H - h_x) + \sum F_h (h - h_x)] \quad (63)$$

en la que el valor de J_x se determina a partir de:

$$J_x = J + (1 - J) (h_x/H)^3 \quad (64)$$

donde:

$$J = 0.6 / \sqrt[3]{T} \quad (65)$$

y J no deberá ser menor de 0,45 ni mayor de 1,0.

4.5.6.—*Combinación de tensiones:* Las tensiones en el hormigón y la armadura, debidas a las cargas combinadas del peso propio y sísmica con las notaciones f_{cc} y f_{se}, se deberán calcular por las ecuaciones de las Secciones 4.3 y 4.4, de la misma manera que se calculan los esfuerzos para las cargas combinadas del viento y del peso propio.

4.6.—Tensiones verticales debidas a la temperatura

4.6.1.—La tensión vertical máxima, en psi, en el hormigón que se presenta en el interior de la pared de la chimenea, debido a la temperatura, f'_{CTV}, se deberá calcular por la ecuación (24):

$$f'_{CTV} = LkT_x E_c \quad (24)$$

donde:

c = relación de área armadura vertical interior al área armadura vertical exterior

L = coeficiente térmico de dilatación del hormigón y de la armadura ha de tomarse como 0,0000065 por °F

E_c = Módulo de elasticidad del hormigón, en psi

$$k = -pn(c+1) + \sqrt{[pn(c+1)]^2 + 2pn[z+c(1-z)]} \quad (28)$$

p = relación entre el área total de la armadura vertical exterior y el área total del hormigón de la chimenea en la sección considerada.

z = relación de la distancia entre la superficie interior de la pared de la chimenea y la armadura vertical de la temperatura, al espesor total de la pared t

n = es el valor definido anteriormente

T_x = se calcula por las ecuaciones (21a), (21b), (21c) o (22)*

* Los datos de investigación disponibles para establecer los coeficientes de transferencia térmica a través del conducto interior y el fuste de la chimenea, especialmente en lo que respecta a la transferencia térmica desde los gases a las superficies y a través de los espacios de aire ventilados entre ambos, conducto y fuste, son algo insuficientes. A menos que se realicen estudios completos del equilibrio térmico para cada chimenea en particular, es permisible utilizar constantes, tal como se determina o establecen mas adelante. Estas constantes, al introducirse en las ecuaciones para la diferencia de la temperatura a través de la pared de la chimenea, T_x, darán valores de precisión de conformidad con los supuestos básicos del diseño.

- Γ_q = 0.5
- C_c = 12
- C_s y C_b = a obtener del fabricante de los materiales utilizados
- K₁ = a determinar a partir de las curvas de la figura 5.15.
- K₂ = 12
- K_r = T/120
- K_s = T/150

El valor de r_q = 0.5 se deberá aplicar solamente cuando la distancia entre el revestimiento exterior y la lamina de la chimenea no sea menor de 4 pulgadas (10 cm) en toda la altura del conducto interior y se provean aberturas de admisión de aire a través de la pared de la chimenea en la parte inferior, *teniendo un área en pies cuadrados numericamente igual a dos terceras partes del diametro interior del conducto en pies en la parte superior del conducto*. Las obstrucciones locales en el espacio de aire entre el conducto y el fuste no deberán restringir el área del espacio de aire en cualquier sección horizontal a menos de la que se especifica para la admisión de aire en la parte inferior del conducto.

Los conductos de altura completa soportados por ménsulas se deben disponer de tal modo que permitan la expansión y protejan adecuadamente al hormigón de la ménsula y de la pared de la chimenea contra la corrosión producida por los gases de la chimenea.

En donde se utilicen conductos interiores de altura parcial autoportantes o soportados por ménsulas, la altura hasta la que el conducto se realiza se debe determinar sobre la base de los esfuerzos de la temperatura en la pared de la chimenea y la protección contra la corrosión del hormigón, mejor que sobre la base de que la temperatura de los gases decrece sustancialmente cuando pasan a través de la chimenea. Se llama la atención sobre varias pruebas que se han realizado en chimeneas en servicio (ver «Informe de las pruebas realizadas para determinar las temperaturas en las chimeneas de hormigón armado» ACI Proceedings V. 21, 1925, p. 204. «Bosquejo de las pruebas en una chimenea de hormigón armado de 300 pies» ACI Proceedings V. 22, 1926, p. 350; e «Informe de pruebas en una chimenea de hormigón armado de 300 pies» ACI Proceedings V. 23, 1927, p. 109) que demuestran que la caída o descenso de la temperatura de los gases de la chimenea entre el punto de introducción y la parte superior de la chimenea es relativamente débil.

a. Para chimeneas sin conducto:

$$T_x = \frac{tD_{ci}}{C_c D_c} \left[\frac{T - T_o}{\frac{1}{K_1} + \frac{tD_{ci}}{C_c D_c} + \frac{D_{ci}}{K_2 D_{co}}} \right] \quad (21a)$$

b. Para chimeneas con conducto con aislamiento llenando completamente el espacio entre el conducto interior y el fuste:

$$T_x = \frac{tD_{bi}}{C_c D_c} \left[\frac{T - T_o}{\frac{1}{K_1} + \frac{t_b D_{bi}}{C_b D_b} + \frac{t_s D_{bi}}{C_s D_s} + \frac{tD_{bi}}{C_c D_c} + \frac{D_{bi}}{K_2 D_{co}}} \right] \quad (21b)$$

c. Para chimeneas con conducto con espacio de aire no ventilado entre el conducto interior y el fuste:

$$T_x = \frac{tD_{bi}}{C_c D_c} \left[\frac{T - T_o}{\frac{1}{K_1} + \frac{t_b D_{bi}}{C_b D_b} + \frac{D_{bi}}{K_r D_s} + \frac{tD_{bi}}{C_c D_c} + \frac{D_{bi}}{K_2 D_{co}}} \right] \quad (21c)$$

d. Para chimeneas con conducto con cámara de aire ventilada entre el conducto interior y el fuste:

$$T_x = \frac{tD_{bi}}{C_c D_c} \left[\frac{T - T_o}{\frac{1}{r_q K_1} + \frac{t_b D_{bi}}{r_q C_b D_b} + \frac{D_{bi}}{K_s D_s} + \frac{tD_{bi}}{C_c D_c} + \frac{D_{bi}}{K_2 D_{co}}} \right] \quad (22)$$

donde:

r_q = relación entre la transmisión térmica a través de la pared del fuste de la chimenea y la transmisión térmica a través del conducto interior, para las chimeneas con cámara de aire ventilada

t = espesor del fuste de hormigón, en pulgadas

t_s = espesor del espacio de aire o aislamiento entre el fuste y el conducto, en pulgadas

t_b = espesor del conducto interior, en pulgadas

T = temperatura máxima de los gases en el interior de la chimenea en °F

T_o = temperatura mínima del aire exterior que rodea a la chimenea en °F

C_c = coeficiente de conductividad térmica del hormigón de la pared exterior de la chimenea, en Btu por pie², por pulgada de espesor, por hora, por °F de diferencia en la temperatura (12 para el hormigón)

C_b = coeficiente de conductividad térmica del conducto de la chimenea, en Btu por pie², por pulgada de espesor, por hora, por °F de diferencia en la temperatura

C_s = coeficiente de conductividad térmica, del aislamiento entre el conducto y el fuste, en Btu por pie², por pulgada de espesor, por hora, por °F de diferencia en la temperatura (3 para el hormigón de áridos de poco peso).

K_1 = coeficiente de transmisión térmica desde los gases a la superficie interior del conducto de la chimenea cuando ésta está con conducto, o a la superficie interior de la pared del fuste de la chimenea, cuando ésta está sin conducto, en Btu por pie², por hora, por °F de diferencia en la temperatura

K_2 = coeficiente de transmisión térmica desde la superficie exterior de la pared de la chimenea al aire circundante en Btu por pie², por hora, por °F de diferencia en la temperatura

K_r = coeficiente de transferencia térmica por radiación entre la superficie exterior del conducto y la superficie interior de la pared de hormigón de la chimenea, en Btu por pie², por hora, por °F de diferencia en la temperatura (no ventiladas)

K_s = coeficiente de transferencia térmica por radiación entre la superficie exterior del conducto y la superficie interior de la pared de hormigón de la chimenea, en Btu por pie², por hora, por °F de diferencia en la temperatura, para las chimeneas con espacios de aire ventilados

D_{bi} = diámetro interior del conducto, en pies

D_b = diámetro medio del conducto, en pies

D_s = diámetro medio del espacio entre el conducto y la pared del fuste, en pies

D_{ci} = diámetro interior del fuste de hormigón de la chimenea, en pies

D_c = diámetro medio de la pared del fuste de hormigón de la chimenea, en pies

D_{co} = diámetro exterior del fuste de hormigón de la chimenea, en pies

4.6.2.—La tensión máxima en psi en la armadura vertical de la temperatura f_{STV} , se deberá calcular por la ecuación (26):

$$f_{STV} = L (z - k) T_x E_s \quad (26)$$

donde:

E_s = módulo de elasticidad de la armadura, en psi

y las demás notaciones son tales como se definieron anteriormente.

4.6.3.—Habrá armadura vertical en ambas caras. *El total de la armadura vertical será como mínimo 0,25 % del área de hormigón.* La armadura vertical exterior será como mínimo el 50 % de la armadura vertical total. Las barras de armadura de la cara exterior no serán más pequeñas que #4 (Ø 12) y estarán espaciados a intervalos no mayores de 12" (30 cm) entre centros.

La armadura vertical de la cara interior será de barras verticales no menores que #4 a intervalos no mayores de 24" (60 cm) (\varnothing 12) entre centros.

4.7.—Esfuerzos circunferenciales

4.7.1.—La tensión circunferencial máxima, en psi, en el hormigón debido a la temperatura f''_{CTC} , que se presenta en el interior del fuste de la chimenea, se deberá calcular por la fórmula (47):

$$f''_{CTC} = L k' T_x E_c \quad (47)$$

donde:

$$k' = -p'n (c' + 1) + \sqrt{[p'n (c' + 1)]^2 + 2p'n [z' + c' (1 - z')]} \quad (50)$$

y:

T_x = valor determinado para la tensión vertical de la temperatura.

p' = relación entre el área de la sección transversal del acero de la armadura circunferencial exterior por unidad de altura y el área de la sección transversal de la pared de la chimenea por unidad de altura.

z' = relación entre la distancia de la superficie interior de la pared de la chimenea al acero de la armadura circunferencial exterior y el espesor total de la pared t .

c' = relación de área de armadura circunferencial interior al área de armadura circunferencial exterior.

Todas las demás notaciones son las mismas que para los esfuerzos verticales debidos a la temperatura.

4.7.2.—La tensión máxima, en psi, en la armadura circunferencial f_{stc} , debido a la temperatura, se deberá calcular mediante la fórmula (48):

$$f_{stc} = L (z' - k') T_x E_s \quad (48)$$

4.7.3.—La tensión máxima circunferencial, en psi, en el hormigón debido a la presión radial del viento alrededor de la chimenea f''_{CWC} , que ocurre en la cara interior del fuste, se calculará mediante la ecuación (147):

$$f''_{CWC} = \frac{W r^2}{106 t^2} \left[\frac{k'}{(k')^3 + 3np' [(z' + k' - 1)^2 c' + (z - k')^2]} \right] \quad (147)$$

donde:

W = Presión de viento en Tabla 4.2.1. in psf. Todas las otras notaciones permanecen como definidas en 4.3.1. y 4.7.1.

4.7.4.—La tensión máxima en psi en la armadura circunferencial exterior f_{swc} , debido a la distribución de presiones radiales de viento se calculará mediante la Ec. (148).

$$f_{swc} = n f''_{CWC} \left[\frac{z'}{k'} - 1 \right] \quad (148)$$

4.7.5.—La tensión máxima circunferencial en psi en el hormigón debido a presiones radiales de viento alrededor de la chimenea f_{CWC} , que ocurre en la cara exterior de la chimenea se calculará mediante la Ec. (247):

$$f_{CWC} = \frac{W r^2}{92 t^2} \left[\frac{k'_o}{(k'_o)^3 + 3np' [(z' + k'_o - 1)^2 + c' (z' - k'_o)^2]} \right] \quad (247)$$

$$k'_o = -p'n (c' + 1)$$

$$+ \sqrt{[p'n (c' + 1)]^2 + 2pn [c'z' + 1 - z']}$$

W = presión de viento, psf, de Tabla 4.2.1.

4.7.6.—El esfuerzo máximo, en psi, en la armadura circunferencial interior f''_{swc} , debido a la distribución de presiones de viento alrededor de la chimenea, se calculará mediante la ecuación (248):

$$f''_{swc} = n f_{CWC} \left[\frac{z'}{k'_o} - 1 \right] \quad (248)$$

4.7.7.—La armadura circunferencial en cada cara será de 0,1 pulgada cuadrada por pie de altura como mínimo y no menos de 0,1 % del área de hormigón en la sección.

4.7.8.—La armadura circunferencial de la cara interior estará a intervalos de 12" (30 cm) como máximo. La armadura circunferencial de la cara exterior estará a intervalos no mayores que el espesor del fuste y de todas formas no más de 12" (30 cm). El tamaño mínimo de las barras de armadura circunferenciales será #3 (\varnothing 10).

4.8.—Combinación de tensiones debidas a las cargas del peso propio, la temperatura y el viento (o movimiento sísmico)

4.8.1.—La tensión máxima, en psi, en el hormigón debido al efecto combinado del viento, del peso propio y la temperatura, $f''_{cw-comb}$ que se presenta en el interior de la pared de la chimenea, en el lado al abrigo del viento (sotavento) de la chimenea se deberá calcular por las ecuaciones (30) y (41):

a) Cuando k_{comb} es igual o menor que la unidad:

$$f''_{cw-comb} = \frac{f''_{CTV} k_{comb}}{k} \quad (30)$$

b) Cuando K_{comb} es igual o mayor que la unidad:

$$f''_{cw-comb} = f''_{cw} + \frac{f''_{CTV}}{k} \left[\frac{2pn [z + c (1 - z)] + 1}{2 [1 + pn (c + 1)]} \right] \quad (41)$$

$$k_{comb} = -pn (c + 1) + \left\{ [pn (c + 1)]^2 + 2pn [z + c (1 - z)] + 2k [1 + pn (c + 1)] \frac{f''_{cw}}{f''_{CTV}} \right\}^{1/2} \quad (34)$$

donde:

K_{comb} = relación entre distancia de la superficie interior de la pared de la chimenea a la superficie neutra resultante de la acción combinada del viento, peso propio y la temperatura y el espesor total de la pared t

f''_{cw} = valor determinado anteriormente a partir de la ecuación (14) en donde no existan aberturas, o a partir de la ecuación (13) o ecuación (54) en donde existan aberturas en la pared de la chimenea

f''_{CTV} = valor determinado anteriormente a partir de la fórmula (24)

k = valor determinado anteriormente a partir de (28).

p , n y z son tales como se definieron anteriormente.

4.8.2.—La tensión máxima, en psi, en la armadura vertical, debido al efecto combinado del viento, peso propio y la temperatura $f_{sw-comb}$, que se presenta en el lado del viento (barlovento) de la chimenea, se deberá calcular mediante la ecuación (46):

$$f_{sw-comb} = \frac{f_{STV}}{z - k} \left[z + pn (c + 1) - \left\{ [pn (c + 1)]^2 + 2pn [z + c (1 - z)] - 2pn (z - k) (c + 1) \frac{f_{sw}}{f_{STV}} \right\}^{1/2} \right] \quad (46)$$

Siempre que la expresión $\sqrt{\dots}$ sea ≤ 0 , utilícese las ecuaciones (26A), (28A) y (46A) en lugar de las ecuaciones (26), (28) y (46):

$$f_{STV} = L (z - k) T_x E_s \quad (26A)$$

donde

$$k = \frac{c (1 - z) + z}{(c + 1)} \quad (28A)$$

$$f_{sw-comb} = f_{sw} + f_{STV} \quad (46A)$$

donde:

f_{sw} = valor determinado anteriormente a partir de la ecuación (20) en donde no existan aberturas, o de la ecuación (19) en donde existan aberturas en el fuste.

f_{STV} = valor determinado anteriormente a partir de la ecuación (26A).

Otras notaciones se dan bajo la Sección 4.8.1.

4.8.3.—Las tensiones máximas en el hormigón y la armadura vertical debidas al efecto combinado de los movimientos sísmicos, cargas del peso propio y la temperatura, con notaciones $f''_{ce-comb}$ y $f_{se-comb}$, se deberán determinar a partir de las fórmulas (30) ó (41) y de la ecuación (46) exactamente de la misma manera que las tensiones combinadas debidas al viento, las cargas del peso propio y la temperatura, utilizando f_{ce} por f_{cw} y f_{se} por f_{sw} .

4.8.4.—Se añadirá la tensión circunferencial debido a distribución de presiones de viento radiales, determinado anteriormente (ecuación 147 y 148), a las tensiones circunferenciales por temperatura, calculados a partir de las ecuaciones 47 y 48, con T_x calculado para la temperatura de funcionamiento del gas en la chimenea.

4.9.—Tensiones admisibles

4.9.1.—Siendo f_c igual a la resistencia a la compresión del hormigón en el fuste de la chimenea, a los 28 días, basándose en probetas cilíndricas confeccionadas y ensayadas de acuerdo con los «Requisitos del Código de la Edificación para Hormigón Armado» (ACI 318) del Instituto Americano del Hormigón, las tensiones en el hormigón del fuste de la chimenea no deberán exceder de los valores siguientes:

f_{cw} calculado según (15) ó (17), no deberá exceder de $0,25 f_c$

f_{ce} calculado según (15) ó (17), no deberá exceder de $0,375 f_c$

f''_{CTV} calculado según (24), no deberá exceder de $0,4 f_c$

$f''_{cw-comb}$ calculado según (30) ó (41), no deberá exceder de $0,67 f_c$

$f''_{ce-comb}$ calculado según (30) ó (41), no deberá exceder de $0,67 f_c$

F''_{etc} calculado según (47), no deberá exceder de $0,4 f_c$.

4.9.2.—Las tensiones admisibles en las armaduras no deberán exceder de los valores siguientes:

f_{sw} calculado según (19) ó (20), no deberá exceder de 15.000 psi (1.055 kp/cm²).

f_{se} calculado según (19) ó (20), no deberá exceder de 18.000 psi (1.266 kp/cm²).

f_{STV} calculado según (26), no deberá exceder de 24.000 psi (1.687 kp/cm²).

$f_{sw-comb}$ calculado por (46), no deberá exceder de 32.000 psi (2.250 kp/cm²).

$f_{se-comb}$ calculado por (46), no deberá exceder de 32.000 psi (2.250 kp/cm²).

f_{STC} calculado por (48), no deberá exceder de 24.000 psi (1.687 kp/cm²).

Estas tensiones admisibles son para el empleo del acero ASTM A 615 Grado 60. Las tensiones admisibles correspondientes para el empleo de acero de más baja resistencia se deberán disminuir en 8,33 % y 16,67 % para acero de grado 50 y grado 40, respectivamente.

$$\begin{aligned} \text{Grado 60} &= 60.000 \text{ es/puls}^2 = 60.000 \times 0,0703 = \\ &= 4.218 \text{ kp/cm}^2 \end{aligned}$$

4.9.3.—Las tensiones circunferenciales en hormigón y acero debidos a distribución de presiones radiales de viento, calculados anteriormente de acuerdo con los requisitos de Secciones 4.7.3. a 4.7.6., no excederán de $0,6 f'_c$ y $0,75 f_y$ respectivamente, donde f'_c es la resistencia a la compresión del hormigón a los 28 días, definida en Sección 4.9.1.; f_y es la resistencia a límite elástico del acero de la armadura circunferencial.

4.9.4.—Las tensiones circunferenciales combinadas en hormigón y acero debidas a distribución de presiones radiales de viento y a temperaturas específicas de gases en la chimenea, determinadas anteriormente, de acuerdo con las provisiones de Sección 4.8.4., no excederán de $0,8 f'_c$ y $0,9 f_y$ respectivamente, donde f'_c y f_y se definen en Sección 4.9.3.

CAPITULO 5.—CURVAS DEL DISEÑO

5.1.—Generalidades

5.1.1.—A continuación se muestra una serie de curvas para la solución de las ecuaciones dadas anteriormente para la determinación de las tensiones debidas al viento y a las cargas del peso propio.

Las curvas constan de tres series: *Serie 1*, Figuras 5.1. a la 5.5. inclusive, en donde $n = E_s/E_c = 8$ y $\beta = 0, 15, 20, 25$ y 30° , respectivamente; *Serie 2*, Figuras 5.6. a 5.10. inclusive, en donde $n = E_s/E_c = 10$ y $\beta = 0, 15, 20, 25$ y 30° , respectivamente; y *Serie 3*, Figuras 5.11. a 5.14. inclusive, que está constituida por curvas que representan las funciones trigonométricas que se presentan en las fórmulas, para las tensiones debidas al viento (o movimientos sísmicos) y a las cargas del peso propio, y simplifican la solución de estas fórmulas, en donde $\beta = 0, 20, 25$ y 30° , respectivamente.

5.1.2.—Las curvas de las *Series 1* y *2* se utilizan para determinar los valores de α . Las curvas de la *Serie 3* son meramente una conveniencia para simplificar el trabajo numérico de sustitución en las fórmulas dadas en la especificación. Las curvas de la *Serie 3* se pueden dejar a un lado, si se desea, determinándose a partir de las apropiadas curvas de las *Series 1* ó *2*, pudiéndose determinar las tensiones debidas al peso propio y al viento (o movimientos sísmicos) por sustitución directa en las fórmulas dadas en la especificación.

5.2.—Procedimiento

5.2.1.—En general el procedimiento es como sigue:

1. Calcular el momento flector M debido al viento (o movimiento sísmico) por encima de la sección considerada.
2. Calcular la carga muerta o peso propio W de la chimenea por encima de la sección considerada.
3. Determinar $e = M/W$

4. Determinar e/r

5. Calcular p en la sección considerada.

6. Seleccionar el valor de $n = E_s/E_c$ para los materiales a utilizar.

7. *Caso 1.*—En donde no existan aberturas en el fuste de la chimenea, $\beta = 0$. Entonces, a partir de las curvas para $\beta = 0$, figura 5.1 ó 5.6, correspondiente al valor seleccionado de m , se determina α .

8. *Caso 1.*—Con este valor de α , a partir de la figura 5.11, leer los valores A , B , C y D y a partir de las ecuaciones abreviadas en esta figura determinar f'_{cw} , f_{cw} y f_{sw} . Obsérvese que estas ecuaciones son las mismas que las (14), (17) y (20) del Capítulo 4, en donde $A = 1 - \cos \alpha$; $B = \sin \alpha - \alpha \cos \alpha$; $C = \pi \cos \alpha$ y $D = (1 + \cos \alpha)/(1 - \cos \alpha)$. (Obsérvese que α está en radianes).

7. *Caso 2.*—En donde exista una abertura única o dos aberturas diametralmente opuestas entre sí, en la sección considerada, determinar $\beta =$ mitad del ángulo central formado por la abertura, como una cuerda del círculo de radio 4 (radio medio de la pared del fuste de la chimenea). Para dos aberturas diametralmente opuestas, utilícese la abertura más grande para la determinación de β . Entonces, a partir de las curvas correspondientes a este valor de β y el apropiado valor de n , determinar α .

8. *Caso 2.*—Con este valor de α , a partir de la figura 5.12, 5.13 ó 5.14, correspondiente al valor de β , leer A , B , C , D , E , y F ; a partir de las ecuaciones abreviadas dadas, determinar f'_{cw} , f_{cw} y f_{sw} . Obsérvese que estas ecuaciones son las mismas que las (13), (15) y (19) del Capítulo 4, en donde $A = \cos \beta - \cos \alpha$; $B = \sin \alpha - \alpha \cos \alpha$; $C = \pi \cos \alpha$; $D = (1 + \cos \alpha)$ (Obsérvese que α y β están en radianes).

7. *Caso 3.*—En donde β esté entre los valores para los que se han trazado las curvas, como por ejemplo $\beta = 23^\circ$, determinar α a partir de las curvas para $\beta = 20^\circ$ y α a partir de las curvas para $\beta = 25^\circ$ y realizar una interpolación.

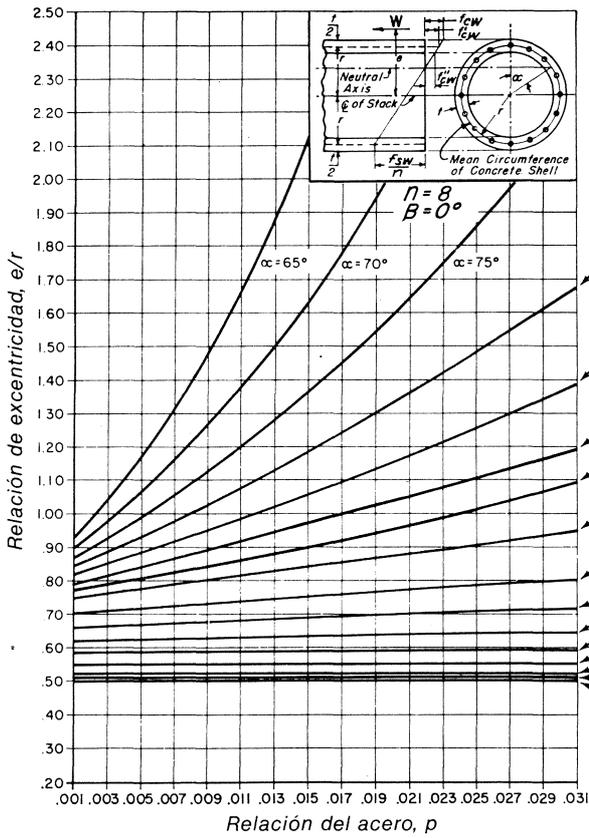


Fig. 5.1—Valores de α para $n = 8$ y $\beta = 0$ grados

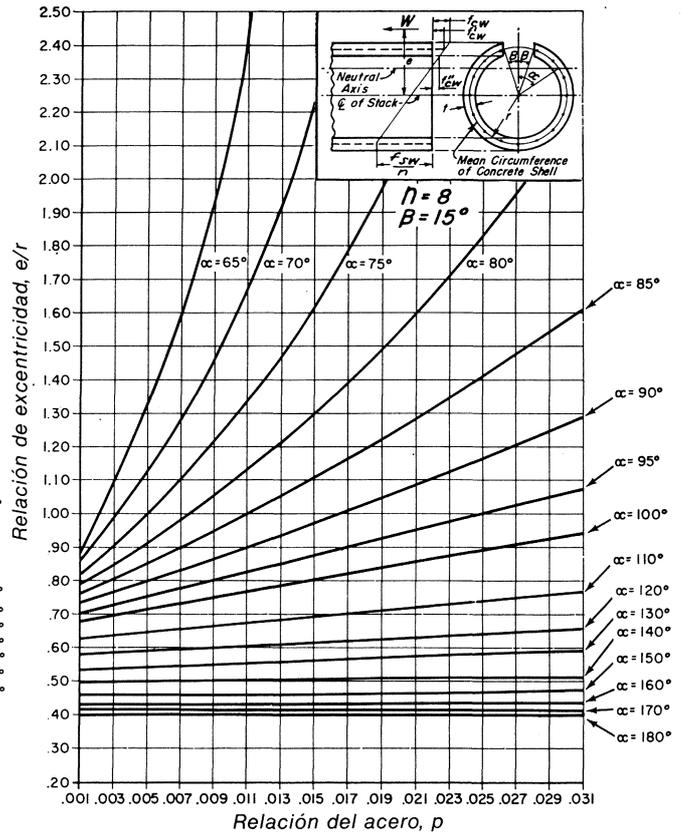


Fig. 5.2—Valores de α para $n = 8$ y $\beta = 15$ grados

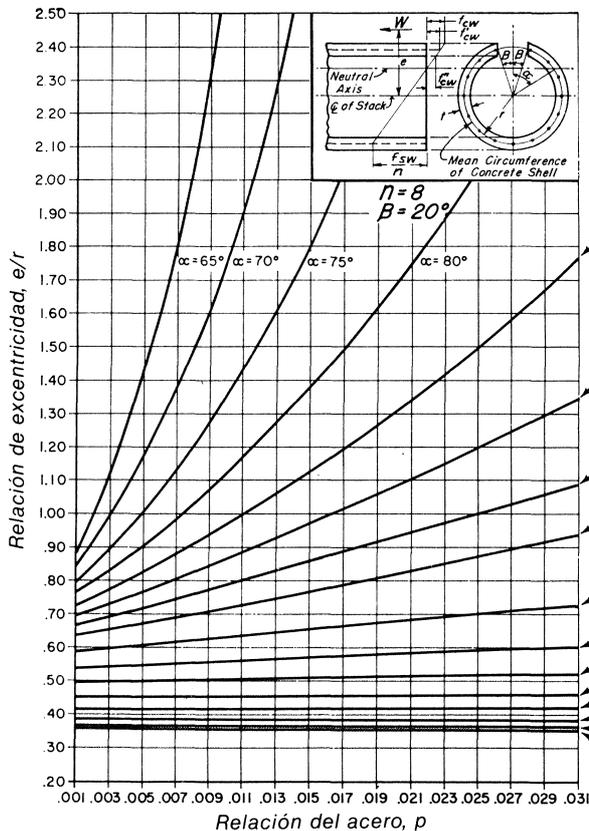


Fig. 5.3—Valores de α para $n = 8$ y $\beta = 20$ grados

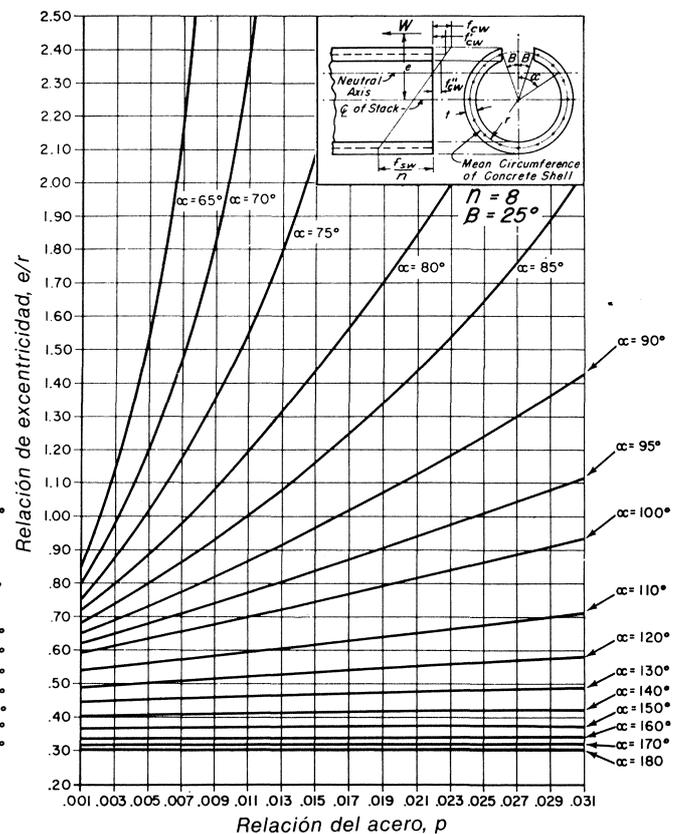


Fig. 5.4—Valores de α para $n = 8$ y $\beta = 25$ grados

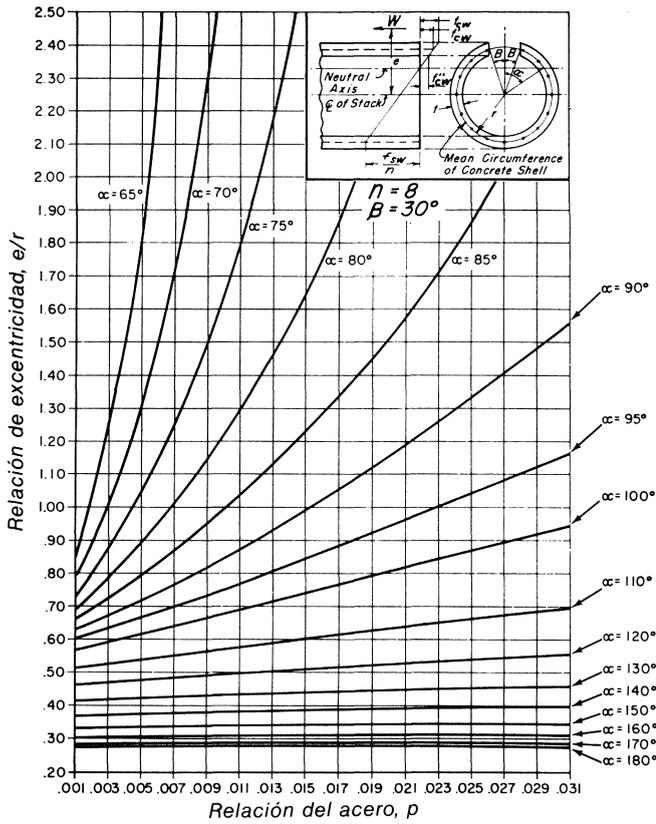


Fig. 5.5—Valores de α para $n = 8$ y $\beta = 30$ grados

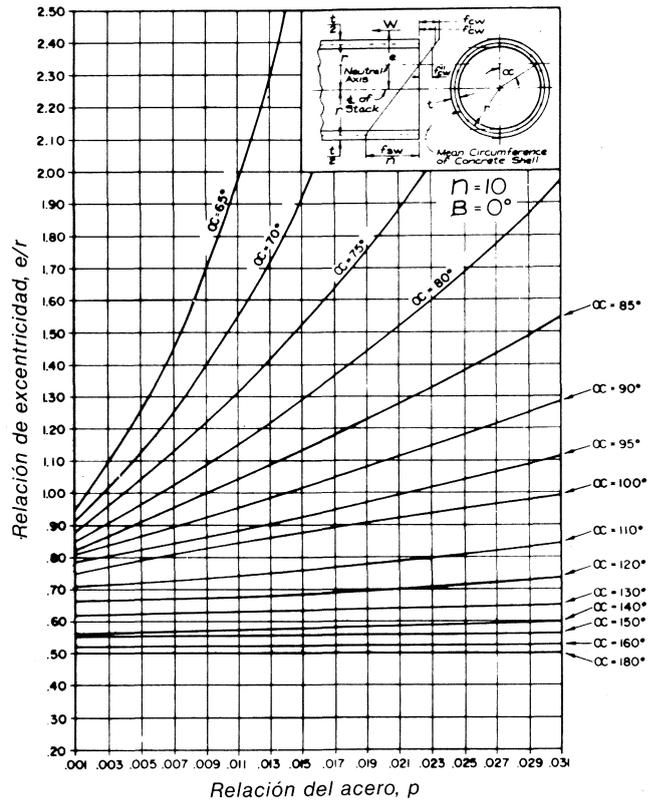


Fig. 5.6—Valores de α para $n = 10$ y $\beta = 0$ grados

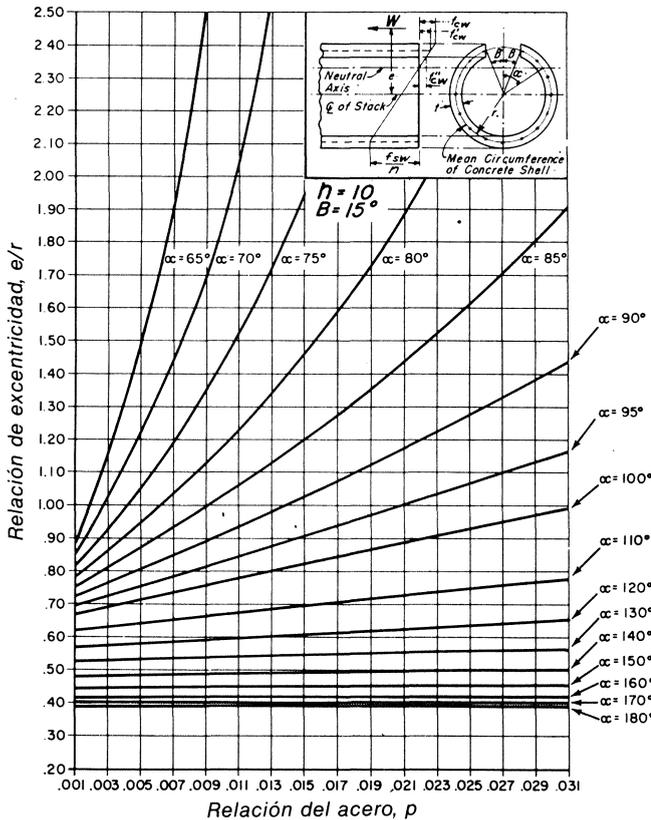


Fig. 5.7—Valores de α para $n = 10$ y $\beta = 15$ grados

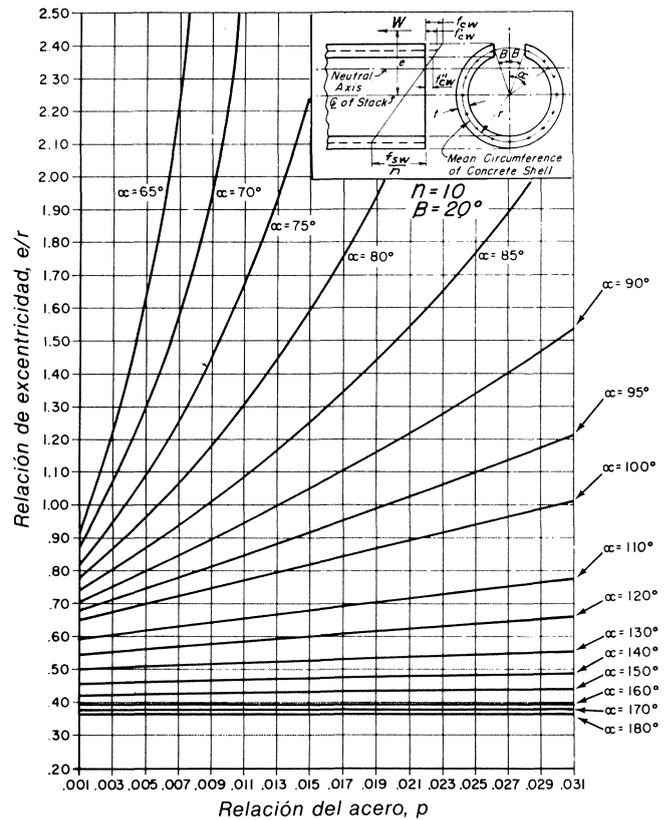


Fig. 5.8—Valores de α para $n = 10$ y $\beta = 20$ grados

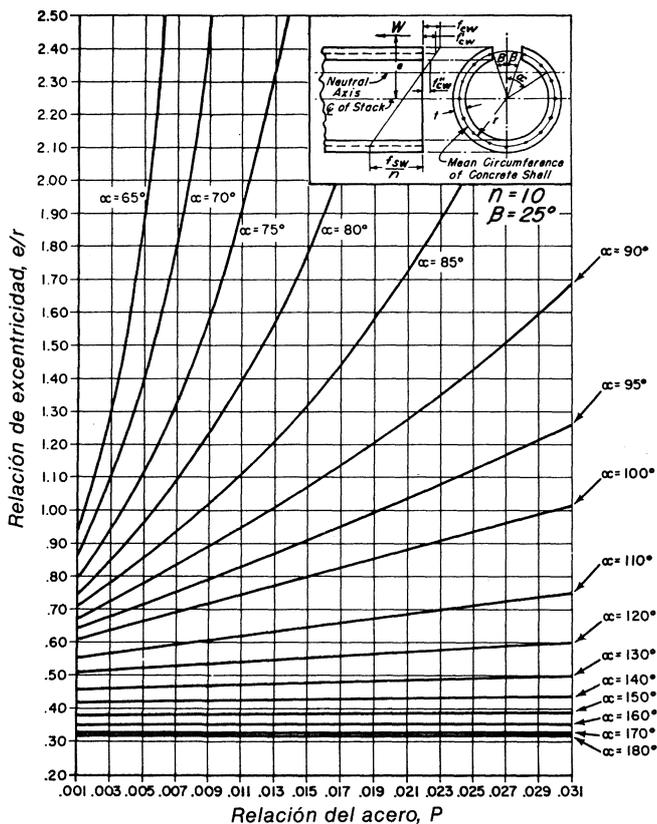


Fig. 5.9—Valores de α para $n = 10$ y $\beta = 25$ grados

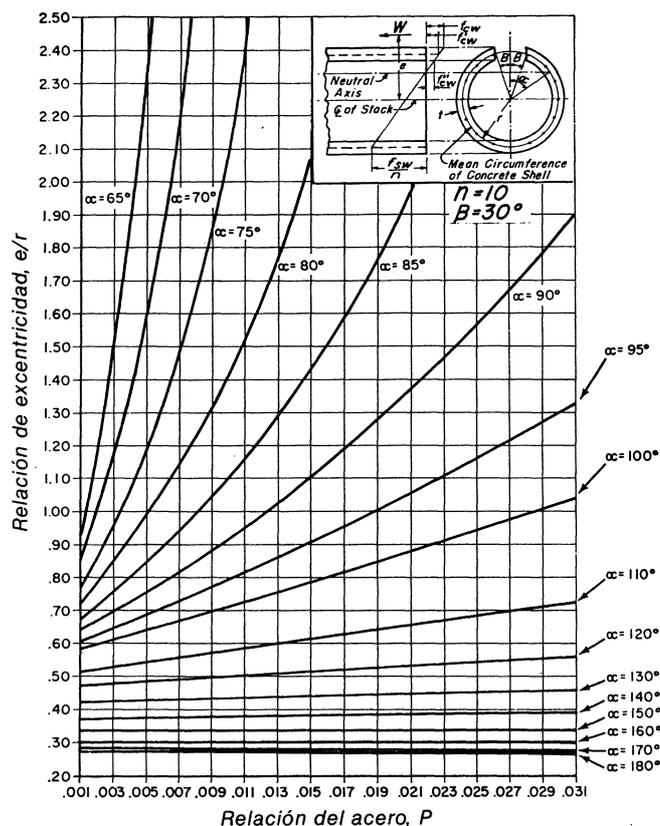


Fig. 5.10—Valores de α para $n = 10$ y $\beta = 30$ grados

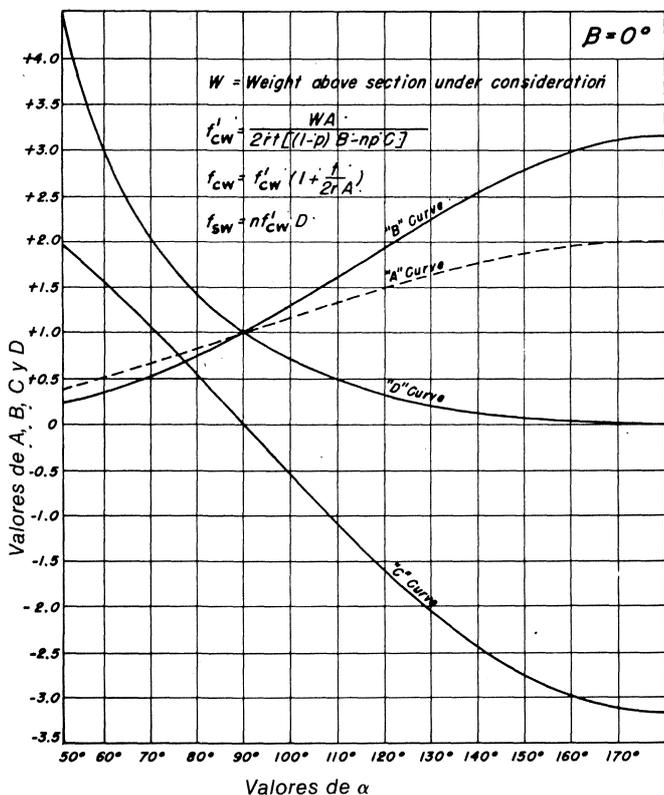


Fig. 5.11—Variables que afectan a las cargas del peso propio y del viento ($\beta = 0^\circ$)

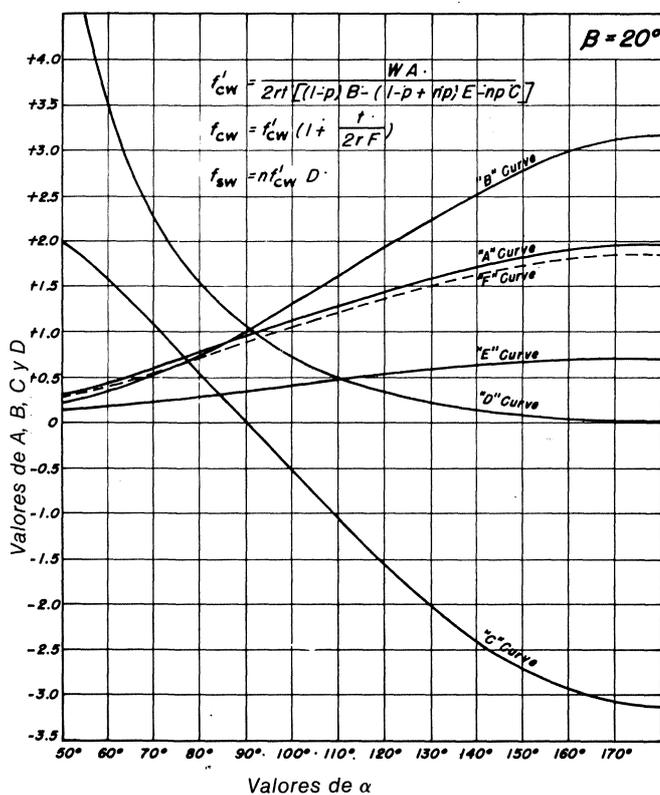


Fig. 5.12—Variables que afectan a las cargas del peso propio y del viento ($\beta = 20^\circ$)

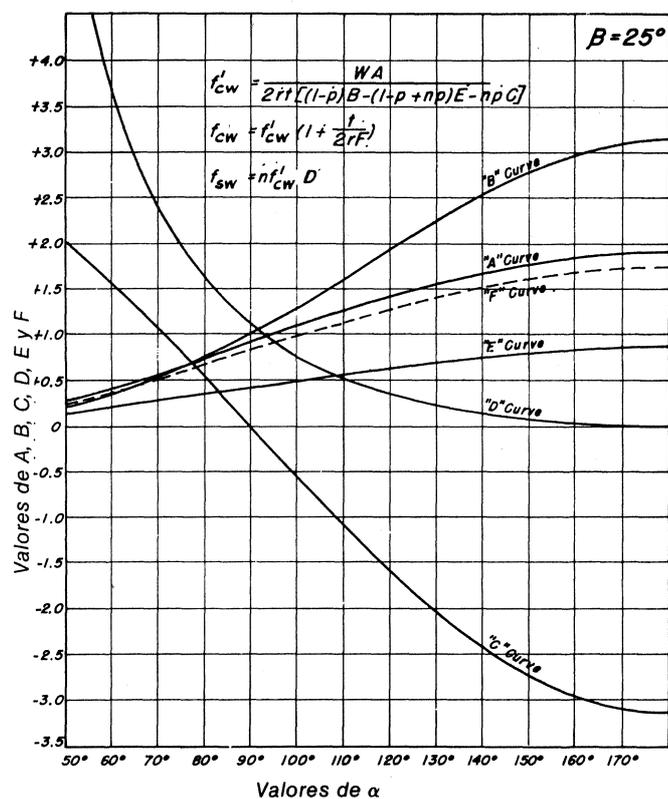


Fig. 5.13—Variables que afectan a las cargas del peso propio y del viento ($\beta = 25^\circ$)

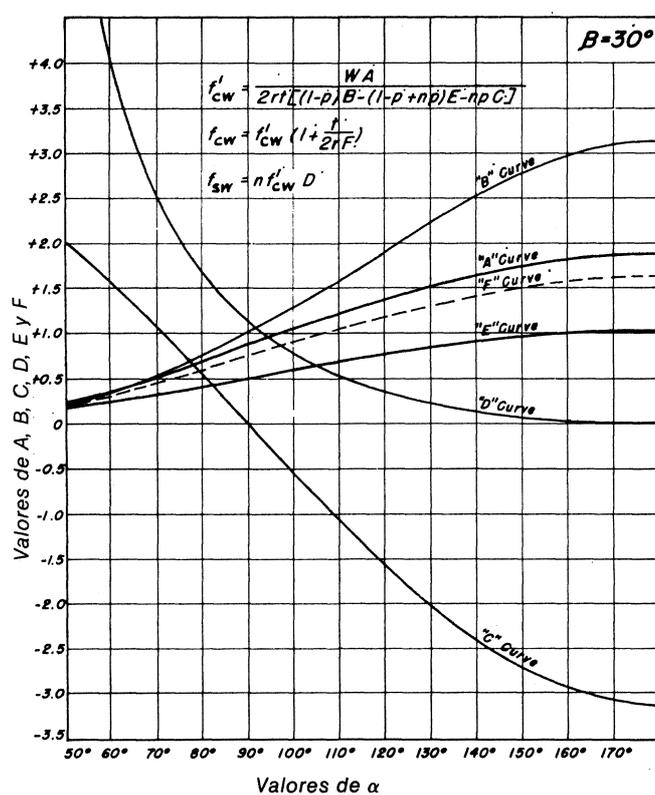


Fig. 5.14—Variables que afectan a las cargas del peso propio y del viento ($\beta = 30^\circ$)

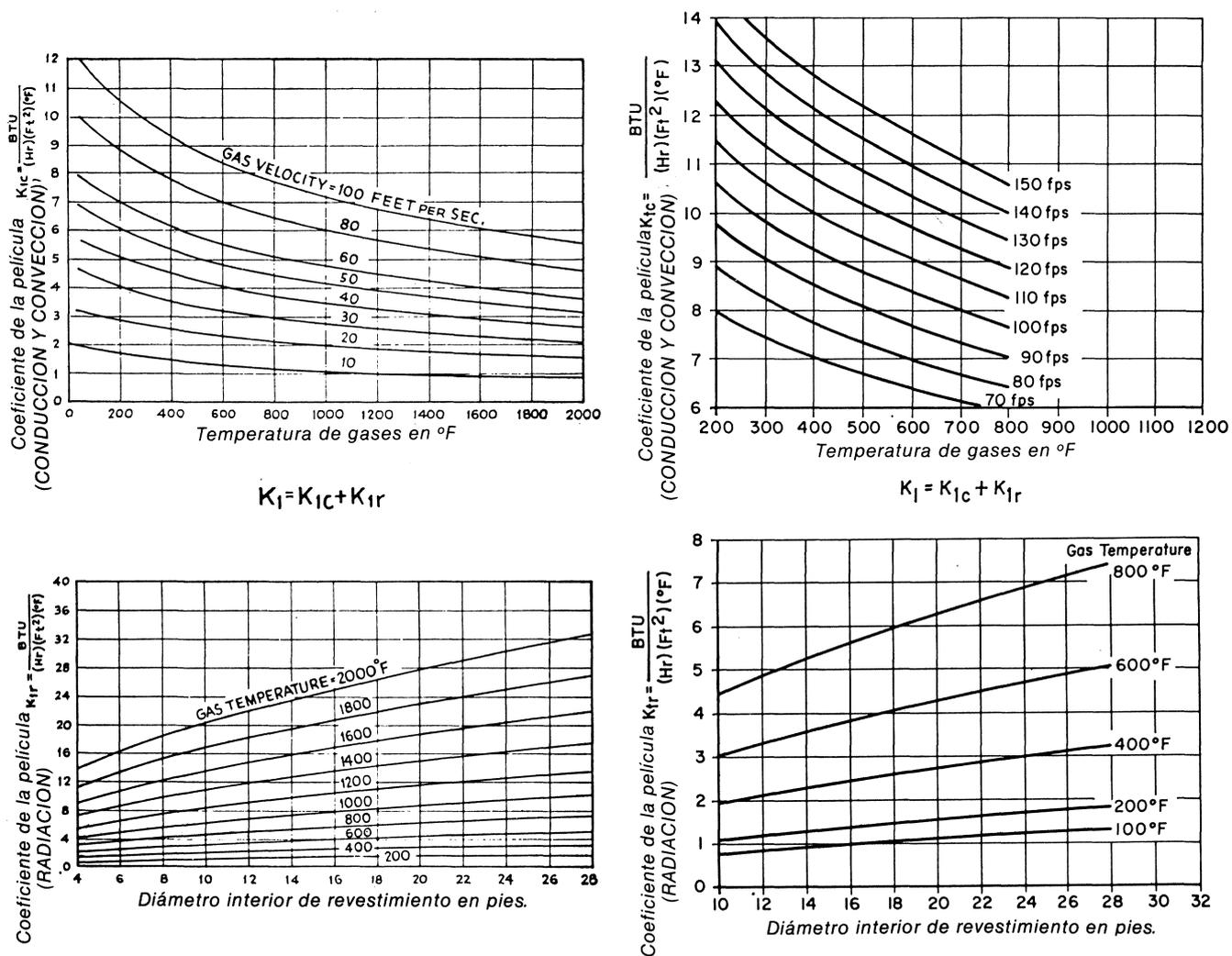


Fig. 5.15—Coeficientes de película del gas de la chimenea.

COMENTARIOS

El Comité 505 original sometió al Instituto «una Propuesta de Especificación Estándar para el Diseño y Construcción de Chimeneas de Hormigón Armado», la cual se publica en ACI Acto V.30, marzo-abril de 1934. Se adoptó esta especificación como una norma provisional en febrero de 1936.

En mayo de 1949 fue reactivado el Comité 505 para revisar la especificación estándar provisional, incorporándose las modificaciones que se iban haciendo deseables durante los años de su empleo. Se volvió a escribir y organizar la especificación provisional. La sección que trataba del gradiente de temperatura a través del conducto de la chimenea y el fuste se revisó por completo y se extendió para cubrir distintos tipos y espesores de conducto y tanto cámaras ventiladas o no ventiladas entre el conducto y el fuste de hormigón. En 1954, se aprobó esta especificación como ACI 505-54.

En mayo de 1959, el Consejo de Administración del ACI reactivó de nuevo al Comité 505 (ahora Comité 307) para que revisará la norma y actualizará algunas partes de la especificación de acuerdo con las últimas técnicas de diseño y el actual conocimiento de la severidad de las condiciones de servicio que imperan en las grandes plantas de vapor.

Se reorganizó el material de la norma, se añadieron gráficos y se revisaron los métodos para determinar las tensiones debidas a viento y sísmicas.

Se amplió la información sobre diseño y la construcción de distintos tipos de conductos y se incorporó en un apéndice.

Esta especificación incluía los criterios para proyecto en tensiones admisibles. Se proyectó añadir criterios de resistencia a la rotura en una revisión futura de la norma.

En la elaboración de las recomendaciones de diseño en cuanto a cargas sísmicas, el Comité incorporó los resultados de los últimos estudios teóricos, adaptándolos a los códigos actuales de EE.UU. Los principales problemas en esta tarea procedían de las inseguridades todavía inherentes a la definición de fuerzas sísmicas y de la dificultad en elegir los niveles apropiados de seguridad y utilidad que puedan ser deseables para distintas clases de construcción. Las investigaciones del Comité indicaron que, con algunas de las modificaciones (tales como el factor K), las ecuaciones de corte de base desarrolladas por el Comité de Sismología de la Asociación de Ingenieros Estructurales de California (SEAOC), podían aplicarse a chimeneas. Asimismo, la forma de las distribuciones de fuerza, corte y momento, según su revisión en el informe de 1967, también podían aplicarse a chimeneas.

Quizá se discutió y se opinó más que nada sobre los requisitos de utilidad. Las chimeneas no representan, en general, un gran riesgo a la vida humana, como edificios ocupados por mucha gente. Por otro lado, los daños sufridos por chimeneas pueden resultar en el cierre de plantas o industrias que son importantes para la recuperación de grandes núcleos de población después de los efectos de terremotos severos. Por ejemplo, la necesidad de la continuidad en el funcionamiento de las utilidades después de un terremoto es evidente. Sin embargo, hay ejemplos de otras instalaciones industriales donde se pueden admitir daños o donde la vida proyectada de la chimenea es corta. Por estos motivos, se introdujo un factor uso (factor U) en la especificación desde 1,3 a 2,0. El límite mayor de $U = 2,0$ corresponde a 1,25 veces las respuestas teóricas promedias de varios acelerogramas de terremotos. Se creía que las chimeneas diseñadas para $U = 2,0$ estarían relativamente libres de daños y utilizables después de un fuerte terremoto. El límite inferior de $U = 1,3$ tenía la intención de producir chimeneas seguras, aunque su utilidad puede resultar perjudicada.

En la selección del factor U apropiado, el ingeniero tiene que decidir en cada caso la importancia de la chimenea para la comunidad y para su dueño. Aunque la diferencia en coste entre chimeneas diseñadas para $U = 1,3$ y $U = 2,0$ es mínima, las economías implícitas en el uso del factor inferior de U no deben olvidarse en los casos donde puede aplicarse el valor menor. En resumen, se destaca que los requisitos de Sección 4.5, en cuanto a diseño sísmico, pueden ser suplantados por un análisis racional basado en una valoración de la sísmicidad del terreno y los cálculos de respuesta modal.

La especificación no estableció unos criterios específicos de resistencia o calidad para la aceptación o rechazo del hormigón empleado en la construcción de una chimenea. El ingeniero debe indicar en la especificación de cada obra los criterios de resistencia y calidad para la aceptación o rechazo del hormigón utilizado en la construcción de la chimenea. El ingeniero debe decidir el número de muestras a tomar para ensayos para las pruebas de resistencia establecidas en esta especificación como el número mínimo. Si el ingeniero o el dueño desea disponer de más muestras para pruebas de resistencia, las especificaciones de la obra deben modificar la especificación en cuanto sea necesario para ese fin.

Se aprobaron las modificaciones en 1969 y se designó la especificación como ACI 307-69. En esa edición, se publicaron los comentarios y la derivación de ecuaciones por separado, como un suplemento de ACI 307-69.

En 1970 se volvió a publicar la especificación con correcciones de los errores tipográficos. Se designó esta edición de

ACI 307-69 ANSI A158.1-1970. En aquel momento, como resultado de muchas peticiones, se publicaron los comentarios y la derivación de ecuaciones en el mismo tomo junto a la especificación.

Las actuales revisiones de la especificación tienen el fin de actualizar sus requisitos de acuerdo con el uso estándar aceptado en el diseño y construcción de chimeneas de hormigón armado. Los principales cambios incluyen el requisito de que se empleen dos capas de acero de refuerzo en las paredes de todas las chimeneas (anteriormente este requisito se aplicaba sólo a las chimeneas con paredes de espesor mayor de 18"); y al requisito de que se diseñara unas secciones horizontales en las paredes de la chimenea para resistir la distribución de presiones radiales de viento alrededor de la chimenea. Se incluyen fórmulas para calcular las tensiones bajo estas condiciones. También se han incluido muchas revisiones de menos importancia para actualizar la especificación.

Las anteriores especificaciones contenían apéndices sobre revestimientos y accesorios. El Comité 307 acordó que el diseño moderno de chimeneas se había hecho más complejo y que no procedía que esta especificación hiciera recomendaciones fuera del campo de diseño de hormigón. Se hizo constar que en las plantas modernas de energía, las normas

sobre el medio ambiente requieren un tratamiento de los gases efluentes que pueda resultar en unas condiciones muy variables y agresivas de corrosión en la chimenea. Como consecuencia, puede llevar a conclusiones erróneas el hacer unas recomendaciones generales sobre un tema que requiere un análisis según los casos.

El Comité ha discutido de manera exhaustiva la cuestión de la inclusión de diseño de resistencia a la rotura en esta especificación. La decisión tomada de excluirle se basó en la falta de datos experimentales sobre cilindros huecos de hormigón para apoyar esta forma de análisis para chimeneas de hormigón. El Comité continuará el estudio de diseño de resistencia a la rotura y promocionará ensayos en este campo.

Referencias

1. Rumman, W. S.: «Fuerzas sísmicas en chimeneas de hormigón armado». Acto, ASCE, V, 93, ST6, diciembre de 1967, páginas 55-70.
2. «Requisitos recomendados en cuanto a fuerzas laterales y comentarios», Comité Sismológico, Asociación de Ingenieros Estructurales de California de 1967.