

27
2 es



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"ACATLAN"**

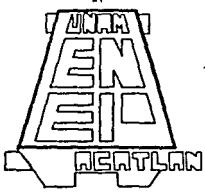
**USO DEL ULTRASONIDO
PARA DETECTAR DAÑOS EN EL CONCRETO
PRODUCIDOS POR LA ACCION DEL FUEGO**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :
I N G E N I E R O C I V I L
P R E S E N T A :
JOSE CARMEN RAMIREZ MARTINEZ

**ASESOR:
ING. JUAN LUIS COTTIER CAVIEDES**

ACATLAN, NAUCALPAN, EDO. DE MEX.

1993



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

	Pág.
INTRODUCCION	1
Antecedentes	
1.- Estructuras protegidas contra el fuego.	3
2.- Factores que influyen en los daños en las estructuras sometidas al fuego.	7
3.- construcciones resistentes al fuego.	9
CAPITULO I RESISTENCIA AL FUEGO DE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO.	
I.1 Propiedades generales del concreto.	11
I.2 Características de los aceros de refuerzo.	15
I.3 Comportamiento al fuego de algunos elementos constructivos.	16
I.4 Razones por las que se recomienda el uso del concreto en una estructura resistente al fuego.	17
I.5 Componentes de los concretos resistentes al fuego.	18
I.6 Curva estandar de tiempo-temperatura.	20
I.7 Efectos de la temperatura en el concreto reforzado producidos por la acción del fuego.	22
I.8 Factores que afectan el incremento de la temperatura en el concreto reforzado.	47
I.9 Efecto de la utilización de agua fría en la extinción de los incendios.	50
I.10 Efectos indirectos de la acción del fuego.	51
CAPITULO II PRUEBAS NO-DESTRUCTIVAS (ULTRASONIDO Y ESCLEROMETRO).	
II.1 Pruebas no-destructivas.	52
II.2 Ultrasonido.	53
II.3 Tipos de ondas generadas por el ultrasonido.	56
II.4 Transductores electricos.	57
II.5 Distintas formas de colocación de los transductores.	58
II.6 Factores que afectan la medición de la velocidad del pulso ultrasonico.	60
II.7 Evaluación de los daños producidos por incendio en el concreto.	66
II.8 Esclerometro o martillo de Schmidt.	75

	Pág.
CAPITULO III PREPARACION DE ESPECIMENES DE CONCRETO.	76
III.1 Aparatos y equipo	77
III.2 Elaboración de especímenes	78
CAPITULO IV APLICACION DE ENSAYES NO-DESTRUCTIVOS.	82
CAPITULO V PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS.	93
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	106
BIBLIOGRAFIA.	108

INTRODUCCION

INTRODUCCION.

En la actualidad México es un país que construye predominantemente estructuras a base de concreto y que frecuentemente sufre una infinidad de incendios a lo largo de todo su territorio.

Para comprobar esta aseveración, sólo basta hojear los periódicos diariamente, por tal motivo, es importante tener presente el uso de la tecnología con que se cuenta para determinar el comportamiento del concreto ante el fuego.

Una de las técnicas más utilizadas en este tipo de siniestros es la prueba del ultrasonido apoyada en la extracción de corazones de las zonas más afectadas y donde la velocidad del pulso ultrasónico es baja, lo que permite conocer la resistencia de los elementos después del incendio.

El objetivo que persigue la presente tesis, es la de determinar mediante el uso del ultrasonido, el comportamiento del concreto elaborado con los agregados del Valle de México (andesita) cuando es atacado por el fuego y la forma en que afecta el tipo de enfriamiento usado.

Por tal motivo, el presente trabajo se estructuró de la siguiente manera:

ANTECEDENTES.- En el cuál se dan los lineamientos que se recomiendan usar para proteger una estructura contra los incendios, así como los tipos de construcciones que son resistentes al ataque del fuego durante un determinado tiempo.

CAPITULO I.- Donde se explican someramente las principales características del concreto y del acero de refuerzo, así como los daños que sufren durante un incendio.

Aquí, es importante hacer notar, que la bibliografía extranjera usada en la presente investigación nos habla de 3 tipos de concreto: concreto con agregados silíceos, concreto con agregados carbonatados y concretos con agregados ligeros. Agregados que aquí en México podrían ser la andesita, caliza y tezontle respectivamente.

Además, se explican en el transcurso de este capítulo, los efectos que sufre el concreto al utilizar agua fría en la extinción del fuego.

CAPITULO II.- Se da una breve descripción del aparato de ultrasonido y una explicación del porque no es recomendable el uso del esclerometro en este tipo de siniestros.

CAPITULO III.- Se procede a la elaboración de los especimenes de prueba y se da una descripción de las Normas Mexicanas usadas como base.

CAPITULO IV.- Se explican en forma breve los pasos que se siguieron durante la aplicación de los ensayos no-destructivos, así como la forma en que los especimenes fueron sometidos al fuego.

CAPITULO V.- Muestra los resultados obtenidos, así como un análisis de los mismos, comparandolos con lo que la bibliografía extranjera nos dice.

CONCLUSIONES y recomendaciones que se dan al finalizar la presente tesis de acuerdo a los resultados obtenidos.

A N T E C E D E N T E S

1.- ESTRUCTURAS PROTEGIDAS CONTRA EL FUEGO.

El incendio es un fenómeno complejo que depende del tipo de materiales, del tipo de local y su ubicación y de las condiciones del medio en el cual se encuentra como son:

Temperatura, presión, composición de la atmósfera, dirección del viento y humedad relativa.

En cada incendio, independientemente de su curso específico, podemos distinguir los siguientes rasgos esenciales: la temperatura máxima, la cantidad de calor producido, la velocidad de combustión, la velocidad con la que aumentan las temperaturas y el tiempo de duración total del incendio.

La forma de comportarse de cada incendio es completamente diferente, sin embargo la mayoría pasa a través de tres periodos o fases principales descritas a continuación:

FASE 1.- Etapa inicial o de crecimiento.

Depende de la fuente del incendio y del material presente, dura de 3 a 50 minutos. Incluye aspectos tales como: Ignición, propagación, elevación de la temperatura y la producción de humos y productos tóxicos.

FASE 2.- Etapa de plenitud.

El fuego entra en su plenitud y se desarrollan las temperaturas máximas: está relacionada con un régimen de combustión uniforme. La estructura en esta fase se haya expuesta a las condiciones más severas de calor y deformación (las temperaturas en esta fase oscilan entre 600 y 1300 grados centígrados).

FASE 3.- Etapa final o decrecimiento.

Una vez llegado al equilibrio térmico en la fase 2, se produce el decaimiento y la extinción del fuego, ya que los gases volátiles del material combustible se han agotado.

Quienes están relacionados con la construcción de todo tipo de edificaciones, como los ingenieros, arquitectos, investigadores, compañías de seguros, urbanistas y la sociedad en sí, ven el problema común del fuego desde diferentes puntos de vista.

A) Ingenieros y arquitectos.

Los ingenieros y arquitectos generalmente están de acuerdo en que es razonable proporcionarle a una estructura una resistencia al fuego proporcional a la probabilidad de la severidad del incendio que pueda ocurrir.

Existen diferencias de opiniones en cuanto a si debe proporcionarse en todos los casos la protección total contra cualquier posible incendio que pueda ocurrir. Sin embargo, es de vital importancia que los ingenieros y arquitectos tomen en cuenta las siguientes medidas básicas de seguridad contra incendios:

- 1.- La planeación de salidas y circulaciones de emergencia;
- 2.- La protección a la exposición del fuego con otras edificaciones;
- 3.- Especificaciones de alturas y áreas conforme al tipo de construcción y ocupación;
- 4.- El tipo de acabados interiores;
- 5.- Las características de la propagación del fuego;
- 6.- El calor y el humo dentro de las edificaciones;
- 7.- La resistencia de los materiales a la acción del fuego y
- 8.- El suficiente espacio dentro de la construcción para la colocación del equipo contra incendio.

B) Investigadores.

La investigación ha producido modelos matemáticos de curvas temperatura-tiempo para predecir los efectos del fuego sobre las estructuras. Sin embargo, la teoría basada en pruebas de investigación puede volverse demasiado precisa e ignorar, en su aplicación, la experiencia contra el fuego.

C) Planificadores.

Las personas cuya función sea la de planificar edificaciones deben tener en cuenta que la resistencia estructural contra el fuego, se puede proporcionar a bajo costo y que el material utilizado para tal fin cubre funciones adicionales.

E) La sociedad.

La opinión creada por este tema en la sociedad se encuentra plasmada dentro de su legislación. En muchos países la legislación es mínima teniendo como objetivo, el mejoramiento de la seguridad humana.

En México, en el Reglamento de Construcción para el Distrito Federal 1987 se dan ciertas recomendaciones, que a continuación se exponen:

Art. 118 .- Este artículo nos define la resistencia al fuego como el tiempo que resiste un material al fuego directo sin producir flama o gases tóxicos, y que deberán cumplir los elementos constructivos de las edificaciones según la siguiente tabla:

ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS	RESISTENCIA MINIMA AL FUEGO EN HORAS	
	Edificaciones de riesgo mayor.	Edificaciones de riesgo menor.
Elementos estructurales (vigas, columnas, trabes, entrepisos, techos, muros de carga) y muros en escaleras, rampas y elevadores.	3	1
Escaleras y rampas.	2	1
Puertas de comunicación a escaleras, rampas y elevadores.	2	1
Muros interiores divisorios	2	1
Muros exteriores en colindancias y muros en circulaciones horizontales.	1	2
Muros en fachadas.	Hechos a base de materiales incombustibles (adobe, tabique, ladrillo block de cemento, yeso, asbesto, concreto, vidrio y metales).	

Art. 117 .- Este artículo nos da una clasificación de las edificaciones a las cuales se refiere el artículo anterior:

A) De riesgo menor son las edificaciones de hasta 25.00 m. de altura, hasta 250 ocupantes y hasta 3000 M². y

B) De riesgo mayor son las edificaciones de más de 25.00 m. de altura o más de 250 ocupantes o más de 3000 M² y además, las bodegas, depósitos e industrias de cualquier magnitud, que manejen madera, pinturas, plásticos, algodón y combustibles o explosivos de cualquier tipo.

Art. 119 .- Los elementos estructurales de acero de las edificaciones de riesgo mayor, deberán protegerse con elementos o recubrimientos de concreto, mampostería, yeso, cemento portland con arena ligera, perlita o vermiculita, aplicaciones a base de fibras minerales, pinturas retardantes al fuego u otros materiales aislantes que apruebe el Departamento, en los espesores necesarios para obtener los tiempos mínimos de resistencia al fuego establecidos en el art. 118.

Art.120 .- Los elementos estructurales de madera de las edificaciones de riesgo mayor, deberán protegerse por medio de aislantes o retardantes al fuego que sean capaces de garantizar los tiempos mínimos de resistencia al fuego según el tipo de edificación.

Los elementos sujetos a altas temperaturas, como tiros de chimeneas, campanas de extracción o ductos que puedan conducir gases a más de 80 grados centígrados deberán distar de los elementos estructurales de madera un mínimo de 60 cms. En el espacio comprendido en dicha separación deberá permitirse la circulación del aire.

Art. 123 .- Los materiales utilizados en recubrimientos de muros, cortinas, lambrines y falsos plafones deberán cumplir con los índices de velocidad de propagación del fuego que establezcan las Normas Técnicas complementarias.

2.- FACTORES QUE INFLUYEN EN LOS DAÑOS EN LAS ESTRUCTURAS SOMETIDAS A LA ACCION DEL FUEGO.

La intensidad del fuego, su extensión y sus efectos sobre la estructura dependen de los siguientes factores:

A) Materiales utilizados en las estructuras.

La cantidad y naturaleza de los materiales en el edificio tienen una influencia determinante sobre los daños ocasionados por el incendio.

Se puede realizar una distinción de las construcciones de acuerdo a su comportamiento frente al fuego:

1o.- Se consideran construcciones no combustibles, aquellas cuyos elementos constructivos sean:

- a) Muros de: piedra, tabique, adobe, concreto, tepetate y vidrio block de 10 cms. de espesor.
- b) Techos o entrepisos de: concreto, lámina metálica o de asbesto sobre armazón metálica, ladrillo, morteros o mezclas con espesor mínimo de 2.5 cms., tejas de barro, pizarras o asbesto cemento.

2o.- Se consideran construcciones combustibles las siguientes:

- a) Muros de: madera, cartón, palma, zacate, láminas de fierro o asbesto sobre armazones de metal o muros ligeros como hojas de triplay sobre bastidores de madera u otros tipos semejantes.
- b) Techos o entrepisos de: madera, cartón, palma, zacate, así como los techos considerados macizos y recubiertos con materiales no macizos, construcciones semifijas no ancladas ni cimentadas al piso construidas a base de fibra de vidrio o láminas con armazones de madera.

El recubrimiento de los elementos de acero con materiales incombustibles puede no ser tan eficaz, por ejemplo, el yeso puede fallar en su protección frente al acero si posee cierto grado de humedad.

De cualquier manera, se pueden denominar los materiales de acuerdo a su comportamiento como:

Agentes pasivos.- Son aquellos que nunca inician o propagan el fuego como el concreto, acero, yeso, piedra, ladrillo.

Agentes activos.- Son aquellos que se comportan como eficaces combustibles como la madera, papel, pinturas, productos asfálticos, etc.

Estos materiales pueden ser estructurales, decorativos, mobiliario o productos almacenados.

B) Corrientes de aire.

La facilidad con la que pueda acceder el aire exterior al lugar donde se desarrolla el fuego, a través de ventanas o puertas abiertas, así como por las escaleras y huecos del ascensor, es de vital importancia ya que influye directamente en la magnitud y extensión de los daños.

Esto, debido a que las corrientes de aire suministran el oxígeno necesario para que se lleve a cabo el proceso de combustión de los materiales, además de que avivan las llamas con el consecuente incremento de la temperatura.

C) Areas o compartimientos no aislados.

Las divisiones que se llevan a cabo en una estructura por razones arquitectónicas, mediante muros de tabique de arcilla, separan los ambientes produciendo un estancamiento momentáneo del fuego que se propaga con lentitud dependiendo del grado de aislamiento térmico y de su resistencia al ataque del fuego.

Está condición por lo regular no está presente en la mayoría de las industrias, pues predominan los grandes espacios abiertos o en oficinas donde se utilizan muros divisorios plásticos de mínima resistencia al fuego.

3.- CONSTRUCCIONES RESISTENTES AL FUEGO.

Existen dos tipos de construcciones resistentes al fuego y que son muy utilizadas en el mundo:

A) Construcciones de concreto reforzado.

El concreto armado es un material que presenta buenas características de resistencia al ataque del fuego, si lo comparamos con otros materiales de construcción como el acero y la madera, pero esta cualidad es limitada y la conserva durante un tiempo limitado que dependerá de varios factores entre los que es decisivo el grado de exposición al fuego (temperatura máxima, tiempo de exposición y cambios de temperatura).

La resistencia al fuego de los elementos de concreto reforzado se encuentran en función básicamente del proporcionamiento del concreto y de la clase de agregados que se usen.

La baja conductividad del concreto, más que su resistencia a las altas temperaturas, lo hacen un material constructivo adecuado para la protección contra el fuego.

La expansión del concreto por la temperatura depende de la expansibilidad y conductibilidad de los agregados al ser sometidos al calor.

El concreto elaborado con agregados ligeros expuesto al fuego, pocas veces se expande porque estos ceden rápidamente a la tensión de temperaturas.

Los edificios de concreto reforzado afectados por incendios de mediana o hasta de gran magnitud sufren serios daños en sus estructuras, pero estos generalmente son recuperables utilizando métodos y técnicas de reparación idóneas para tal fin.

B) Construcciones de acero estructural.

Las estructuras de acero para que adquieran resistencia a altas temperaturas, se deben proteger con recubrimientos de otro material.

Inicialmente, se usó la mampostería, y después el concreto como elemento de protección del acero. Actualmente también se han utilizado los recubrimientos de yeso o de cemento con arena ligera, perlita o vermiculita, así como aplicaciones a base de fibras minerales o pinturas retardantes al fuego que contienen fibras minerales.

El hierro y el acero estructural se expanden y distorsionan a temperaturas relativamente bajas, a menos que se encuentren protegidos apropiadamente.

El coeficiente medio de expansión para el acero estructural entre los 93 grados centígrados y la temperatura interior del local, es de 0.0000065 por cada grado. Para temperaturas de 93° a 593 °C, el coeficiente está dado por la fórmula:

$$C = 00000.61 + 0.000000022 T$$

En donde:

C = Coeficiente de expansión por cada grado centígrado.

T = Temperatura en grados centígrados.

Las armaduras de acero descubiertas y expuestas al calor de un incendio, se tuercen y truenan o hacen caer a los soportes de concreto o mampostería.

Las columnas de acero expuestas al calor de un incendio pierden resistencia, se doblan lateralmente y fallan. Todos los miembros de acero estructural expuestos al calor de un incendio severo tienden a torcerse y fallan para soportar su carga de diseño.

La resistencia a altas temperaturas del acero no protegido dependerá de la carga que esté soportando al momento del incendio, así como de la dimensión del miembro y de la permanencia de la temperatura en su punto máximo.

C A P I T U L O I

RESISTENCIA AL FUEGO DE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO

I.1 PROPIEDADES GENERALES DEL CONCRETO.

El concreto es un material pétreo, artificial obtenido de la mezcla de agregados activos e inertes.

Son llamados agregados activos el agua y el cemento, que al unirse en una lechada provocan una reacción química que fragua y endurece hasta alcanzar gran solidez. Generalmente está lechada constituye del 20 al 40 por ciento del volumen total del concreto y es denominada aglutinante.

Son agregados inertes, la grava y la arena que constituyen del 60 al 80 por ciento del concreto y son los que le proporcionan en parte, la resistencia a la compresión.

El concreto simple es resistente a la compresión, pero es demasiado frágil a la tensión, por lo que se emplea acero de refuerzo colocado en forma de barras en donde se desarrollarán las tensiones, también se emplea en zonas de compresión para aumentar la resistencia del elemento reforzado y así reducir las deformaciones debidas a cargas de larga duración.

La combinación del concreto simple con el acero de refuerzo es denominado concreto reforzado.

El concreto preesforzado es áquel en el que se crea un estado de esfuerzos de compresión en el concreto antes de la aplicación de las acciones. Esto se logra mediante el tensado del acero de refuerzo.

A) PERMEABILIDAD.

En la preparación de un concreto, los agregados dejan cierto número de poros o vacios que la mezcla de cemento y agua no los llenan totalmente, permitiendo el paso del agua en menor o mayor escala dependiendo de su correcta elaboración.

B) MODULO DE ELASTICIDAD.

El módulo de elasticidad del concreto no es constante ya que su valor depende de la intensidad de las cargas, de la fatiga de ruptura del concreto y de la permanencia de las cargas.

Sin embargo, el ACI nos dice que su valor puede ser tomado como:

$$E_c = W E 1.5 \times 15100 \sqrt{f'c}$$

donde:

E_c = Módulo de elasticidad en Kg/cm²
 W = Peso volumétrico del concreto en ton/m³
 $f'c$ = Resistencia del concreto en Kg/cm²
 E = Exponente

Por su parte, el reglamento de construcciones del D.F.; propone que:

$$E_c = 10000 \sqrt{f'c}$$

donde:

E_c = Módulo de elasticidad en Kg/cm²
 $f'c$ = Resistencia del concreto en Kg/cm²

C) COEFICIENTE TERMICO.

El concreto se encuentra sometido a cambios volumétricos por el incremento de la temperatura. Se ha determinado que los coeficientes térmicos oscilan entre 0.000007 y 0.000011 de deformación unitaria por cada grado centígrado de cambio de temperatura, para los concretos de peso volumétrico normal (2.2 ton/m³).

D) RESISTENCIA A COMPRESION.

Una de las principales características del concreto es su resistencia a la compresión que es la máxima resistencia de un espécimen sometido a carga axial.

La resistencia a compresión del concreto depende de la relación agua-cemento, del tiempo, del adecuado vibrado y del curado. Las pruebas se hacen sobre cilindros de 15 cms. de diámetro y 30 cms. de altura curados en laboratorio y probados a los 28 días.

Cuando se efectúa la ruptura del cilindro, la fatiga correspondiente a esa ruptura se representa por $f'c$.

En las pruebas efectuadas para medir la resistencia a compresión, es necesario, que la resistencia obtenida del promedio de tres pruebas consecutivas no sea menor a la resistencia supuesta de diseño. Cada prueba deberá consistir cuando menos de tres cilindros.

E) RESISTENCIA AL CORTE.

La resistencia del concreto a este esfuerzo es buena y se tiene un valor entre el 40 y el 80% de la resistencia a la compresión del mismo.

La variación que se aprecia entre la resistencia mínima y máxima, es porque en las pruebas que se efectúan es muy difícil separar el esfuerzo cortante de los otros esfuerzos.

F) RESISTENCIA A LA TENSION.

El concreto bajo esta condición es un material frágil, su resistencia se considera aproximadamente entre el 15 y el 20% de su resistencia a la compresión.

El conocimiento de la resistencia a la tensión del concreto es importante para el diseño en tensión diagonal y para otros tipos de comportamiento, en donde la tensión es el fenómeno predominante.

Para medir la resistencia del concreto a la tensión se utiliza la prueba brasileña que en esencia consiste en someter un cilindro a compresión lineal diametral, aplicando la carga a través de un material suave, como triplay o corcho.

La resistencia se calcula con la expresión:

$$f_t = 2P / 3.1415DL$$

donde:

f_t = La resistencia a tensión en Kg/cm^2 .

P = La carga máxima en Kg.

D = El diámetro del espécimen en cm.

L = Longitud del espécimen en cm.

La resistencia a la tensión longitudinal es del 5 al 12% más alta que la resistencia a la tensión directa.

Para concretos fabricados en México, la resistencia del concreto a la tensión obtenida por medio del ensaye brasileño, está dada por la expresión:

$$f_t = 6 \text{ Kg/cm}^2 + 0.06 f'_c$$

Para concretos de:

$$150 \text{ Kg/cm}^2 \leq f'_c \leq 450 \text{ Kg/cm}^2$$

- 13 -

G) RESISTENCIA A LA FLEXION.

El índice de resistencia a la flexión del concreto se obtiene del ensaye de vigas de sección cuadrada, simplemente apoyadas y sujetas a una o dos cargas concentradas.

La resistencia del concreto a la flexión es mayor en elementos sujetos a una carga concentrada que los sujetos a dos cargas simétricas.

La resistencia a la flexión se usa como índice de la resistencia de pavimentación de concreto simple.

I.2 CARACTERISTICAS DE LOS ACEROS DE REFUERZO.

El acero es un material muy versátil, ya que se fabrica con una gran diversidad de características químicas y físicas y con una gran variedad de calidades.

Atendiendo a su resistencia a la tensión, los aceros se clasifican en tres clases o grados de dureza: grado estructural, grado intermedio y grado duro, caracterizándose cada uno de ellos por el valor del límite elástico aparente o límite de fluencia.

C A R A C T E R I S T I C A S A L A T E N S I O N

	ESTRUCTURAL	INTERMEDIO	DURO
Carga máxima de ruptura (Kg/cm)	3900-5300	4900-6300	5600
Tensión o compresión en el acero	1265	1400	1700
$f_s \leq 0.5 f_y$			
Límite elástico aparente	2300	2800	3500
f_y (Kg/cm ²)			

El módulo de elasticidad es el mismo para los tres grados de dureza: 2000000 Kg/cm².

Por lo que refiere a los esfuerzos permisibles en el acero:

- A) Tensión o compresión en el acero grado estructural
 $f_s \leq 1265 \text{ Kg/cm}^2$
- B) Tensión o compresión en otros aceros
 $f_s \leq 0.5 f_y$
- C) Compresión en el concreto
 $f_c \leq 0.45 f'c$

La adherencia se obtiene a partir de la fricción y adhesión entre el concreto y el acero, y puede resultar afectada por la contracción del concreto en relación con la del acero.

Las varillas que empleamos en el refuerzo del concreto se fabrican en dos tipos: lisas y corrugadas, ambas en doce diámetros diferentes.

El objeto de las corrugaciones es para lograr una mejor adherencia entre el acero y el concreto.

I.3 COMPORTAMIENTO AL FUEGO DE ALGUNOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS.

ACERO	Pérdida del 50% de la resistencia a 500 °C. Conductividad 80 w/m 0 °C.
CONCRETO SIMPLE	Conductividad 1 a 2 w/m 0 °C. Pérdida del 60% de la resistencia a 600 °C, manifestación de microfisuración en la zona dañada provocada por la expansión de los agregados.
CONCRETO ARMADO	Más de 120 minutos respetando mínimos: recubrimiento y dimensiones de sección. Pérdida de adherencia del acero de refuerzo por expansión del concreto, continuada de microfisuración hasta llegar al desprendimiento de la capa de recubrimiento del concreto.
ALUMINIO	Funde a 650 °C. Conductividad de 5 veces la del acero.
MADERA	Arde a 280 °C. En 30 minutos pierde de 2 a 3 cm.
ALBAÑILERIA	240 minutos (a 1100 °C). Desprendimiento del recubrimiento y pérdida de adherencia entre el mortero y los elementos (tabique, block).

I.4 RAZONES POR LAS QUE SE RECOMIENDA EL USO DEL CONCRETO EN UNA ESTRUCTURA RESISTENTE AL FUEGO.

- I.-** El concreto es un material incombustible, con lenta absorción de calor y retiene en gran proporción su resistencia cuando se encuentra sometido a temperaturas muy elevadas.
- II.-** La resistencia del concreto a la acción del fuego se logra con un bajo costo debido a que es suficiente el recubrimiento de los elementos y el tamaño de los mismos en la mayoría de las estructuras, ya que estos están diseñados para resistir cargas y para proporcionar un buen margen sobre la resistencia mínima requerida contra el fuego.
- III.-** La resistencia al fuego sólo se reduce en forma gradual y de manera visible, bajo un fuego lento y detectable. Las losas y vigas de concreto reforzado y prefabricado, o coladas en obra, actúan de manera conjunta al ocurrir un incendio, por lo que su comportamiento combinado es mejor que el de las losas y vigas probadas como elementos separados.
- IV.-** La capacidad estructural por lo general puede restaurarse en las estructuras de concreto dañadas por el fuego, en tanto que en las estructuras con otros materiales de igual resistencia al fuego, estas resultarían con daños irreparables.
- V.-** La resistencia adicional al fuego proporcionada al aumentar el tamaño de los elementos de concreto, nos permite una capacidad de reserva que ayuda a los mismos a soportar de mejor manera las cargas de trabajo a las que se encuentran sometidos, además de que podrían ser benéficas si la función de la edificación cambiará posteriormente.

I.5 COMPONENTES DE LOS CONCRETOS RESISTENTES AL FUEGO.

A) Cemento.

Los concretos elaborados a base de alúminas, puzolanas y escorias tienen una mayor resistencia al fuego que los fabricados con cemento portland normal.

Sin embargo, la alúmina es poco empleada debido a su alto costo, su pérdida de agua y su pérdida de resistencia con el paso del tiempo.

La poca facilidad de fabricación que presentan los puzolánicos y las escorias limitan su aplicación.

B) Agregados.

Los agregados se clasifican en tres grupos:

- Agregados con carbono
- Agregados con sílice
- Agregados ligeros

Los agregados con carbono son capaces de sobrellevar la pérdida de dióxido de carbono a temperaturas de 715 °C a 980 °C, para el carbonato de calcio, y de 740 °C, para el carbonato de magnesio.

En la superficie del concreto se forma una película de dióxido de carbono, que produce una capa aislante, que retarda los promedios de resistencia al fuego y la elevación de la temperatura.

El efecto es una mayor resistencia al fuego que la de un concreto hecho con agregados silíceos.

En los agregados silíceos se presenta a una temperatura aproximada a los 871 °C, la inversión del sílice. Existe una posible ventaja que ofrecen los agregados silíceos que es la no disminución de su resistencia por la pérdida de dióxido de carbono.

Los agregados ligeros forman el tercer grupo de agregados con mayor resistencia al paso del calor. Estos agregados ayudan a aislar el interior y la cara no expuesta al fuego de un elemento estructural de concreto, contra la alta velocidad de calentamiento.

Además, su capacidad de retención de agua les permite brindar mayores resistencias.

Los concretos elaborados con estos 3 tipos de agregados se denominan:

1) Concreto carbonatado.

Es el concreto que se encuentra hecho con agregados cuya consistencia principal es a base de carbonato de calcio o magnesio, por ejemplo, la dolomita o la piedra caliza.

2) Concreto siliceo.

Son los concretos hechos con agregados de peso normal formados principalmente de silica u otros componentes distintos al carbonato de calcio o magnesio.

3) Concreto ligero.

Es el concreto hecho con agregados de arcilla expandida, esquistos, pizarras o ceniza volante y cuyo peso fluctúa de 1360 a 1840 Kg/m³.

De estos tres tipos de concretos, el concreto ligero presenta un mejor comportamiento ante el fuego, siguiendole el concreto carbonatado y por último el concreto siliceo.

C) Agua.

El agua juega un papel muy importante en la resistencia del concreto. Si el contenido de agua en el concreto endurecido presenta saturación, al verse éste expuesto al fuego el agua lo afecta fuertemente.

Por lo anterior, es conveniente mantener el contenido de agua en el concreto a un nivel bajo, curarlo adecuadamente y permitir que el concreto seque antes de que se exponga a una temperatura alta.

I.6 CURVA ESTANDAR DE TIEMPO-TEMPERATURA.

La resistencia al fuego de los materiales se refiere al número de horas en las que se prueban en un fuego simulado.

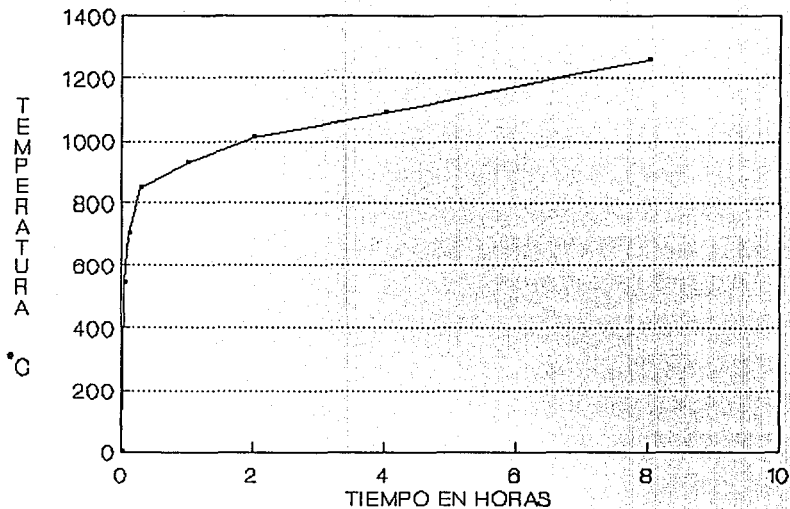
En los Estados Unidos y Canadá las pruebas de fuego se realizan bajo la norma ASTM E-119. Fue formulada para proveer un medio uniforme de asignar durabilidades comparativas de los elementos constructivos durante el ataque del fuego. El control de la intensidad del fuego para pruebas de los componentes constructivos está basado en la curva estándar de tiempo-temperatura (fig. #1).

Las bases para el trazo de esta curva se establecieron en 1918 por representantes de 11 sociedades técnicas y organizaciones reunidas por el ASTM COMMITTEE ON FIRE PROFING (Sociedad Americana para Prueba de Materiales, Comisión para Pruebas contra Incendio) y el NFPA COMMITTEE ON FIRE-RESISTIVE CONSTRUCTION (Asociación Nacional de Protección contra Incendio, Comisión para Construcción Resistente a Incendio).

La función más significativa de la curva estándar, son sus rangos iniciales de elevación de temperatura, obtenidos a 538 °C en 5 minutos y 704 °C en 10 minutos.

Otros puntos que determinan el curso de elevación de temperatura son 843 °C en 30 minutos, 927 °C en 1 hora y 1010 °C en 2 horas y después de estos puntos el rango de elevación es de 24 °C por hora, alcanzandose hasta 1093 °C en 4 horas y 1260 °C en 8 horas.

CURVA ESTANDAR DE TIEMPO-TEMPERATURA



José Carmen Ramírez Martínez
Tesis profesional
ENEP Acatlán

FIGURA No. 1

I.7 EFECTOS DE LA TEMPERATURA EN EL CONCRETO REFORZADO PRODUCIDOS POR LA ACCION DEL FUEGO.

La resistencia al fuego se puede definir como la capacidad que tiene un material de construcción o un elemento estructural de permanecer ejerciendo las funciones para las cuales ha sido diseñado, durante un tiempo determinado y bajo la acción de un fuego.

Para conocer dicha resistencia, se somete al elemento a un programa de temperatura-tiempo, mientras éste se encuentra sometido a sus condiciones de uso.

Las temperaturas a las cuales se elevan los incendios en las estructuras generalmente llegan a 1000 °C o más, y son muy pocos los materiales que conservan una resistencia estructural de importancia a dichas temperaturas.

Una propiedad muy importante del concreto es la cualidad de resistir la transmisión de calor y de limitar estas elevadas temperaturas a una zona comparativamente poco profunda cerca de la superficie expuesta.

Es de gran ayuda en este proceso, la propiedad que tiene el concreto de reducir la conductividad a altas temperaturas, que puede llegar a ser de aproximadamente una tercera parte del valor de la misma a temperaturas ambientes normales.

El resultado práctico de esta propiedad es, por ejemplo, que en una típica columna de concreto reforzado expuesta a una prueba estándar de fuego durante un período de dos horas, se observará una temperatura superior a los 300 °C solamente en los 50 mm. exteriores del concreto.

El concreto reforzado sufre diversas alteraciones en sus propiedades y características cuando es sometido a la acción del fuego. Estas alteraciones van en detrimento de la capacidad y seguridad de la estructura.

Para poder evaluar el comportamiento de los elementos de concreto cuando son sometidos a los rangos de temperatura en los que por lo regular suceden los incendios es necesario conocer las propiedades térmicas y mecánicas del concreto y del acero de refuerzo.

1.- Propiedades del concreto a altas temperaturas.

A) Disminución de su resistencia a la compresión.

El aumento progresivo de la temperatura del concreto va produciendo en éste cambios muy importantes:

Entre los 100 y 300 grados centígrados se evapora el agua químicamente libre contenida en los capilares.

Entre los 200 y 300 grados centígrados la pérdida de agua capilar se completa sin que se aprecien aún alteraciones en la estructura del cemento hidratado y sin que la resistencia a la compresión disminuya en forma apreciable.

De 300 a 400 grados centígrados comienza la separación del agua químicamente unida en la pasta del cemento, teniendo lugar una sensible disminución de las resistencias a la compresión.

A los 400 grados centígrados comienza a transformarse el hidróxido de calcio procedente de la hidratación de los silicatos en hidróxido de calcio o cal viva.

Hacia los 600 grados los agregados gruesos se expanden fuertemente ocasionando tensiones internas que provocan la disgregación del concreto, terminando por anularse la resistencia a la compresión del concreto a temperaturas cercanas a los 1000 grados centígrados.

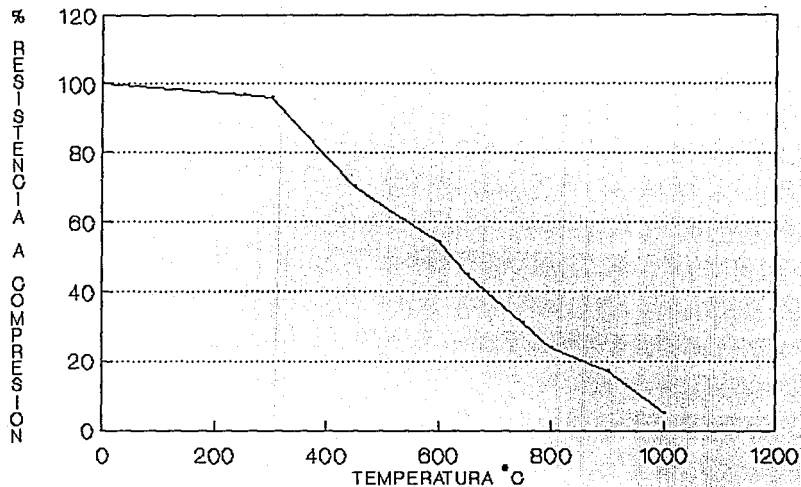
En la figura #2 se pueden apreciar los efectos sobre la resistencia a la compresión del concreto al aumentar su temperatura.

De la figura se puede apreciar que la resistencia a la compresión empieza a disminuir a unos 250 grados y lo hace casi de manera lineal con la temperatura, hasta conservar aproximadamente el 50% de su resistencia original a unos 600 grados centígrados.

Abrams reportó después de muchas observaciones la resistencia a la compresión de concretos hechos con distintos tipos de agregados como se muestra en las figuras #4, #5 y #6.

Las curvas llamadas "no esforzadas" son de especímenes sin carga calentados a la temperatura de prueba. Las resistencias de los especímenes calentados con esfuerzos de 0.4 f'c y probados en caliente son llamados "esforzados a 0.4 f'c".

INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA SOBRE LA RESISTENCIA A COMPRESION DEL CONCRETO



José Garmen Ramírez Martínez
Tesis profesional
ENEP Acatlán

FIGURA No. 2

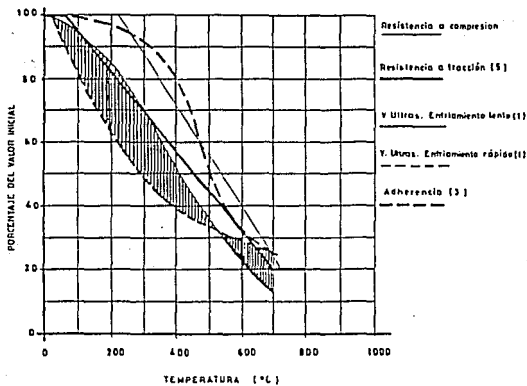
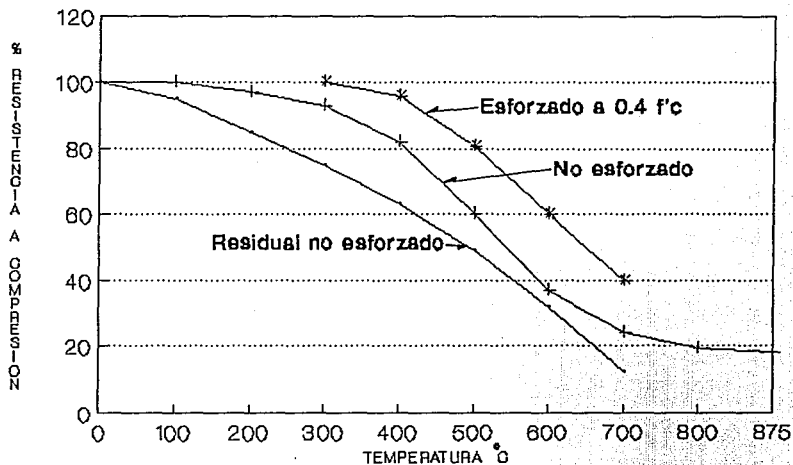


Fig. 3 Influencia de la temperatura en diversas propiedades del concreto.

RESISTENCIA A COMPRESION DE CONCRETO CON AGREGADO SILICEO SOMETIDO A ALTAS TEMPERATURAS.

Ejemplo de agregado siliceo usado en México: andesita

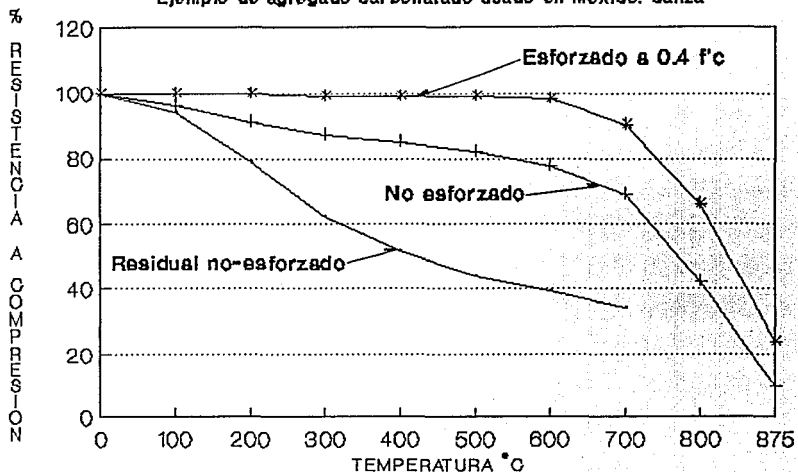


José Carmen Ramírez Martínez
Técnica profesional
ENEP Acatlán

FIGURA No. 4

RESISTENCIA A COMPRESION DE CONCRETO CON AGREGADO CARBONATADO SOMETIDO A ALTAS TEMPERATURAS.

Ejemplo de agregado carbonatado usado en México: caliza

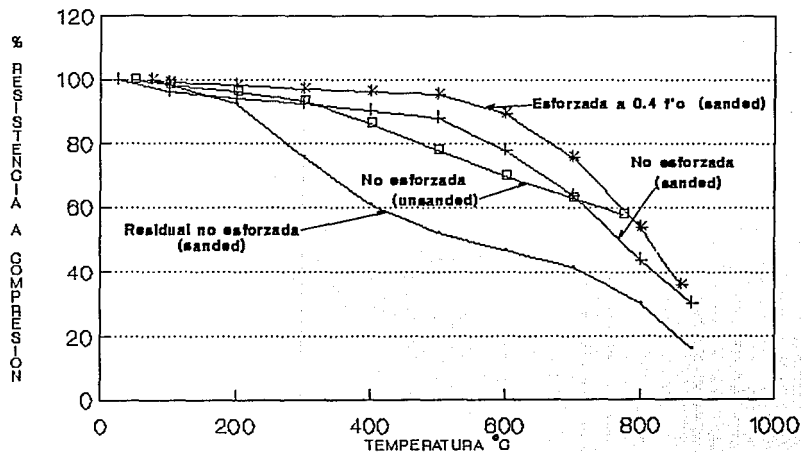


José Carmen Ramírez Martínez
Tesis profesional
ENEP Acatlán

FIGURA No. 5

RESISTENCIA A COMPRESION DE CONCRETO CON AGREGADO LIGERO SOMETIDO A ALTAS TEMPERATURAS

Ejemplo de agregado ligero usado en México: Tezontle



José Carmen Ramírez Martínez
Tesis profesional
ENEP Acatlán

FIGURA No. 6

La resistencia "residual no esforzada" fue determinada de especímenes calentados a la temperatura de prueba, enfriados a temperatura ambiente, almacenados en aire con 75% de humedad relativa por 6 días y probados a compresión. Se notó que las resistencias "esforzadas" son más grandes que las resistencias no esforzadas. Abrams encontro que los niveles de esfuerzo de 0.25 a 0.55 de $f'c$ tuvieron poco efecto sobre la resistencia obtenida.

La resistencia "residual no esforzada" fue en todos los casos la más baja. Abrams también notó que la resistencia original del concreto entre 280 y 450 kg/cm^2 tuvo poco efecto en el porcentaje de resistencia retenido en la prueba de temperatura.

En la gráfica #4, "sanded" se refiere a los especímenes en donde se reemplaza el 60% en volumen de los agregados finos ligeros por arena.

"Unsanded" se le denomina al espécimen elaborado con el mismo material con que se elaboran los blocks de concreto.

B) Disminución del módulo de elasticidad.

El módulo de elasticidad también va sufriendo disminuciones por la acción de las altas temperaturas, lo cual es especialmente peligroso si el concreto forma parte de elementos de pequeño espesor como pueden ser las losas o placas, siendo este el motivo, junto con las dilataciones del acero, de las grandes deformaciones que pueden presentar estos elementos estructurales.

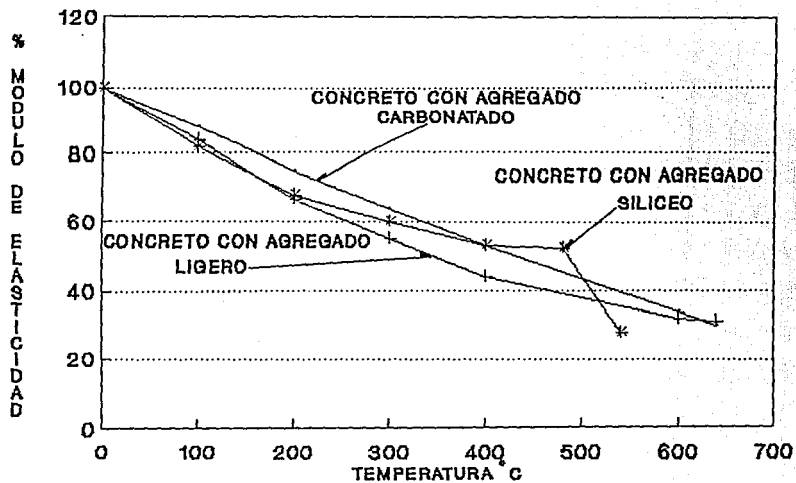
Las figuras #7 y #8 muestran los efectos de las altas temperaturas sobre el módulo de elasticidad y de cortante de concretos hechos con tres tipos de agregados.

Parece que el tipo de agregado y la resistencia del concreto no afectan de manera significativa el módulo de elasticidad y de corte a altas temperaturas.

C) Expansión lineal térmica.

La figura #9 muestra los resultados obtenidos por Cruz sobre la expansión lineal térmica de concretos hechos con diferentes agregados.

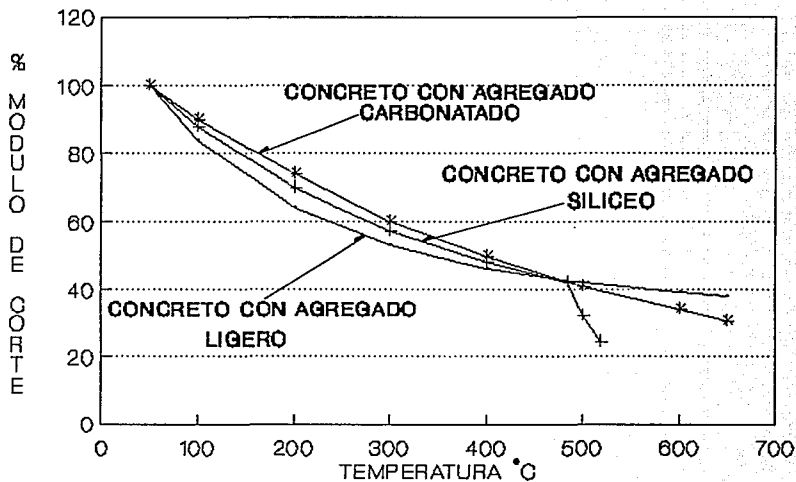
MODULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO A ALTAS TEMPERATURAS



José Carmen Ramírez Martínez
Tesis profesional
ENEP Acatlán

FIGURA No. 7

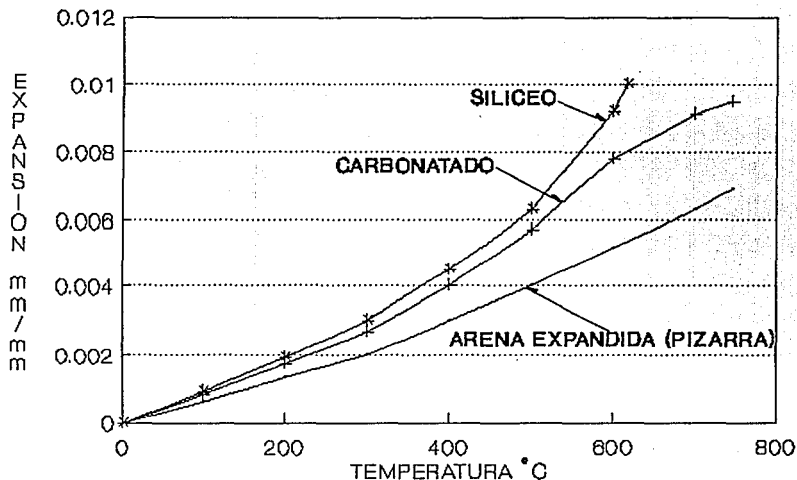
MODULO DE CORTE DEL CONCRETO A ALTAS TEMPERATURAS



José Carmen Remírez Martínez
Tesis profesional
ENEP Acatlán

FIGURA No. 8

EXPANSION TERMICA DEL CONCRETO A ALTAS TEMPERATURAS



José Carmen Ramírez Martínez
Tesis profesional
ENEP Acatlán

FIGURA No. 9

D) Relación esfuerzo-deformación.

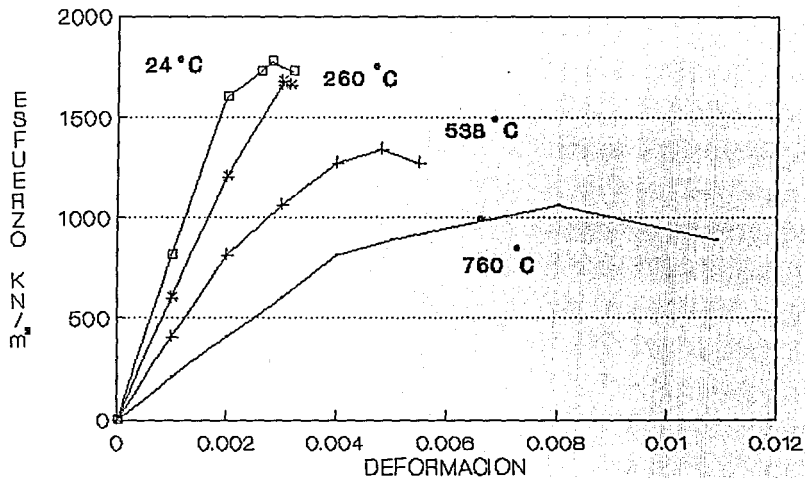
La figura #10 muestra las curvas esfuerzo-deformación para un concreto ligero hecho con agregados de pizarra expandidos obtenidas por Harmathy y Berndt en 1966.

E) Relajación de esfuerzos y flujo plástico.

La relajación de esfuerzos es el flujo plástico que sufre el volumen de concreto bajo un esfuerzo sostenido, mientras más alto sea el esfuerzo sostenido, mayor será el flujo. En 1968, Cruz mostró algunos datos de relajación de esfuerzos y flujo plástico de concretos con agregados carbonatados sometidos a altas temperaturas.

Las figuras #11 y #12 muestran los datos graficamente para un período de prueba de 5 hrs. Nasser y Neville (1967) dijeron que la edad, la condición de humedad, el tipo y resistencia del concreto y la relajación esfuerzo-deformación afectan el flujo del concreto a altas temperaturas.

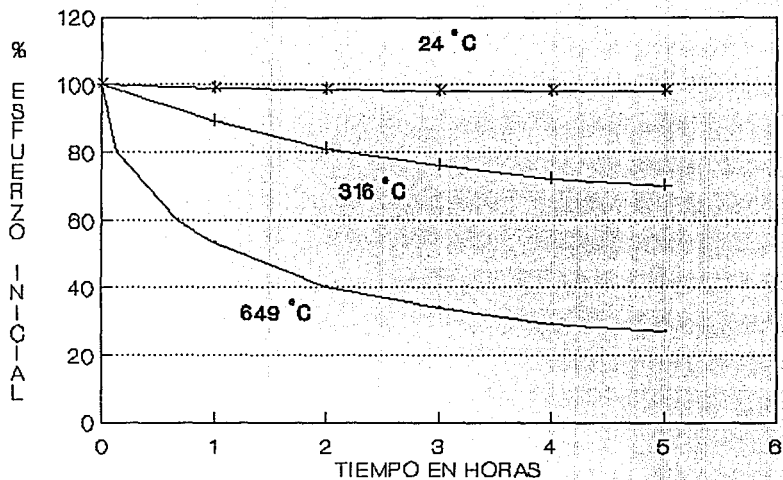
CURVAS ESFUERZO-DEFORMACION DE CONCRETO LIGERO A ALTAS TEMPERATURAS



José Carmen Ramírez Martínez
Tesis profesional
ENEP Acatlán

FIGURA No. 10

ESFUERZO DE RELAJACION DEL CONCRETO CON AGREGADO CARBONATADO



José Carmen Ramírez Martínez
Tesis profesional
ENEP Acatlán

FIGURA No. 11

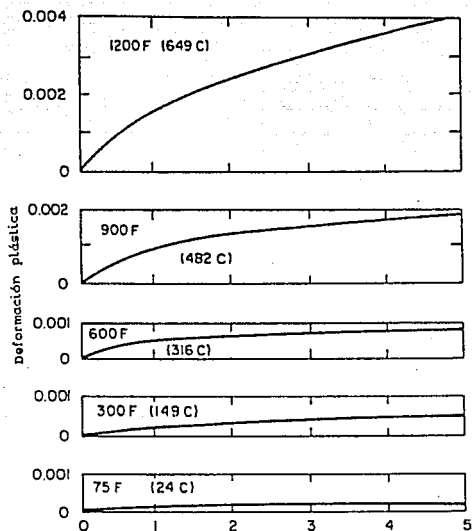


Fig. 12 Deformación del concreto con agregado carbonatado a distintas temperaturas.

2.- Propiedades del acero a altas temperaturas.

Las propiedades mecánicas de los aceros disminuyen al incrementarse la temperatura.

A) Resistencia.

La figura #13 muestra la influencia de la temperatura sobre la resistencia de ciertos aceros. Incluye el esfuerzo de fluencia de los aceros estructurales y de la resistencia última del acero rolando en frío y de las barras de alta resistencia.

Los aceros dulces o laminados al ser calentados a temperaturas mayores a los 400 grados centígrados y hasta los 800 grados, y posteriormente enfriarse lentamente al aire, presentan una resistencia final muy parecida a la inicial.

Con temperaturas mayores de 800 grados, el acero muestra una reducción de su resistencia en frío, y con temperaturas del orden de los 1000 grados se reducen las resistencias hasta en un 25%. Por lo que en la práctica estos aceros recuperan sus propiedades primitivas al enfriarse.

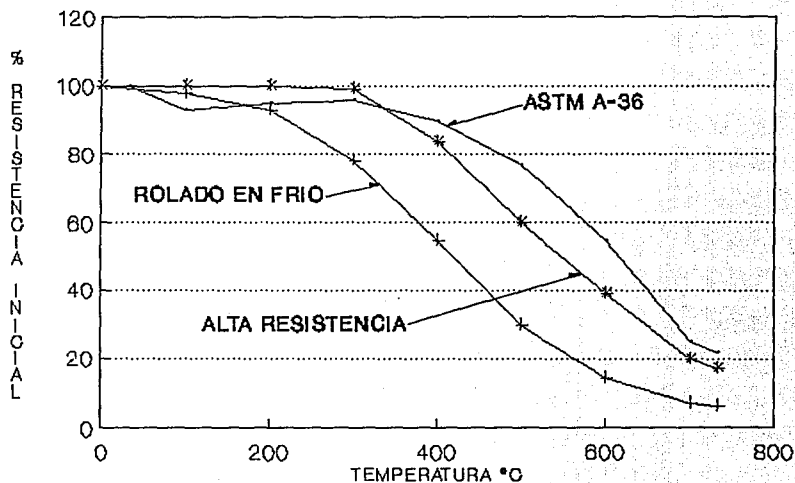
Los aceros estirados en frío, cuando están sujetos a la acción de las altas temperaturas, se transforman en los aceros iniciales y con las mismas propiedades de éstos debido al retorno que produce en ellos la acción del fuego.

En los aceros pretensados la acción del fuego es más crítica aún. Estos aceros endurecidos por trefilado y tratados termicamente, pierden también de forma irreversible sus propiedades cuando sufren la acción del fuego.

Temperaturas superiores a los 400 grados pueden producir la falla o rotura del acero, ya que su límite a tensión se reduce a la mitad.

El acero en elementos prefabricados también es muy susceptible a ser afectado por el calor ya que los recubrimientos de concreto suelen ser pequeños, alcanzando el acero de refuerzo la temperatura exterior en un corto lapso de tiempo.

RESISTENCIA DEL ACERO A ALTAS TEMPERATURAS



José Carmen Ramírez Martínez
Tesis profesional
ENEP Acatlán

FIGURA No. 13

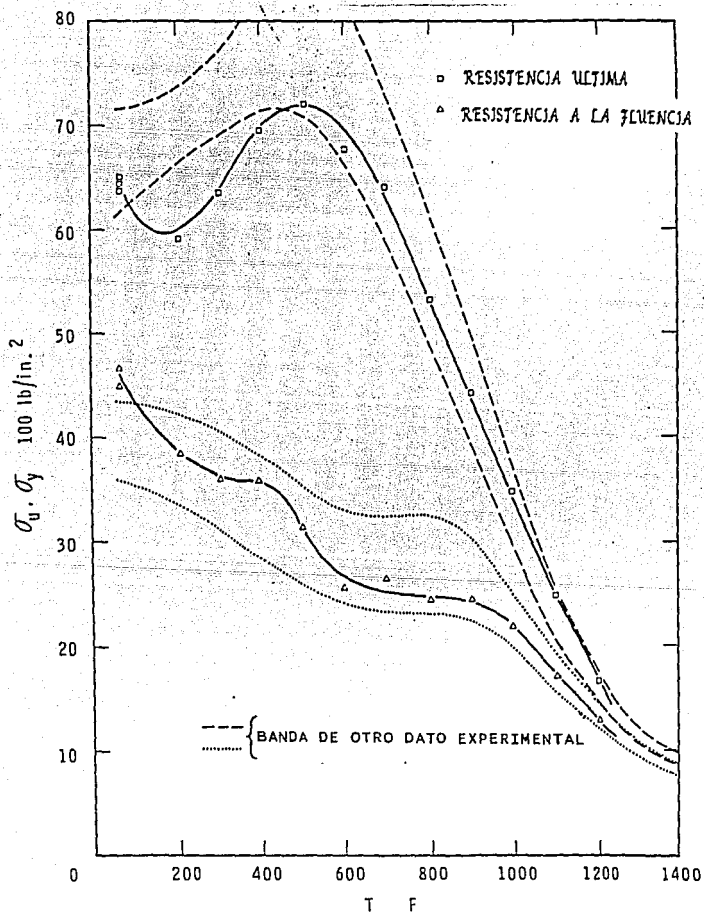


Fig. 14 Resistencia última y a la fluencia del acero.

B) Módulo de elasticidad.

El módulo de elasticidad del acero disminuye con el aumento de temperatura como se muestra en la figura #15.

Para aceros ferríticos el módulo decrece en forma lineal hasta alrededor de los 400 °C, disminuyendo en forma violenta después de está temperatura.

C) Expansión térmica.

El promedio lineal de expansión térmica de los aceros ferríticos sobre un rango de temperatura de 200 a 650 °C se muestra en la figura #16.

El coeficiente de expansión térmica no es constante sobre estas temperaturas pero se incrementa conforme aumenta la temperatura. La temperatura depende del coeficiente de expansión térmica (β), dado por la siguiente fórmula:

$$\beta = (11 + 0.0036) \times 10E-6 / ^\circ C$$

En la cual:

β = Temperatura en °C

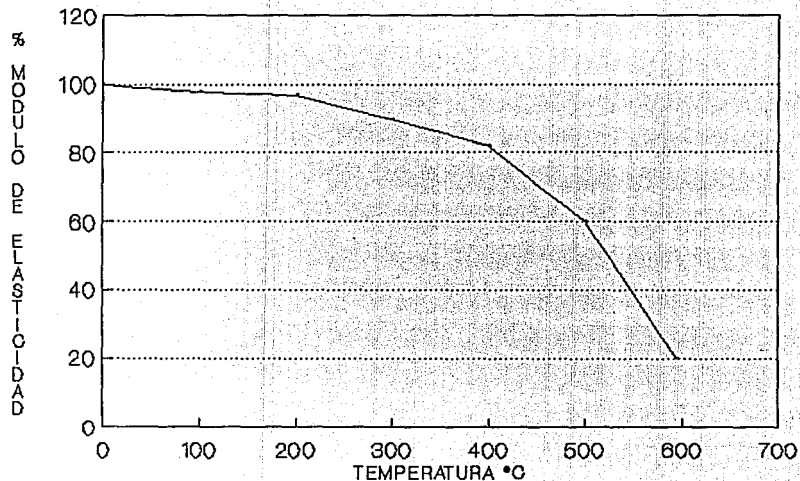
E = Exponente

D) Fluencia o flujo plástico.

El flujo plástico es la deformación no recuperable debido al efecto del fuego que al degradar las propiedades mecánicas del concreto reforzado disminuye su capacidad para soportar las deformaciones elásticas.

La figura #17 muestra los tres períodos del flujo plástico.

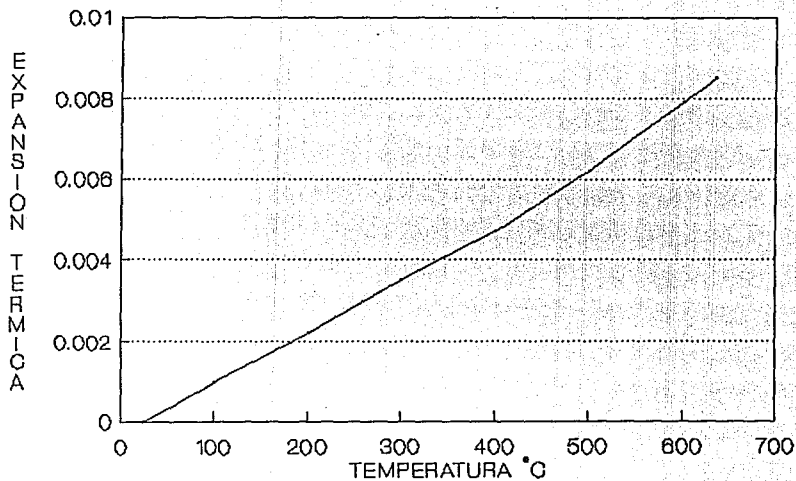
MODULO DE ELASTICIDAD DEL ACERO A ALTAS TEMPERATURAS



José Carmen Ramírez Martínez
Tesis profesional
ENEP Acatlán

FIGURA No. 15

EXPANSION TERMICA DE LOS ACEROS FERRITICOS A ALTAS TEMPERATURAS



José Carmen Ramírez Martínez
Tesis profesional
ENEP Acatlán

FIGURA No. 16

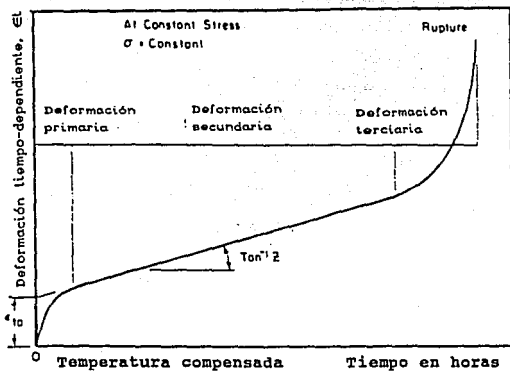


Fig. 17 Interpretación de los parametros de deformación plástica y los periodos de flujo plástico.

3.- Otros efectos internos y externos del concreto reforzado sometido a altas temperaturas.

A) Cambios de color.

Los concretos con agregados silíceos, sufrirán una serie de cambios progresivos de color (figura #18) que son característicos para cada nivel de temperatura alcanzado; esta coloración se conservará aún después del enfriamiento y podrá ser observada en la superficie y dentro del concreto, según la profundidad hasta donde haya penetrado el color.

Las zonas que se presenten tiznadas por el humo generalmente solo sufren daños leves, ya que no se genera gran cantidad de calor y por ende no se alcanzan altas temperaturas.

Si la temperatura aumenta posteriormente el color negro de la superficie será sustituido por rosado, crema o gris según el nivel máximo de calor producido.

La temperatura de 300 grados centígrados es importante por dos razones:

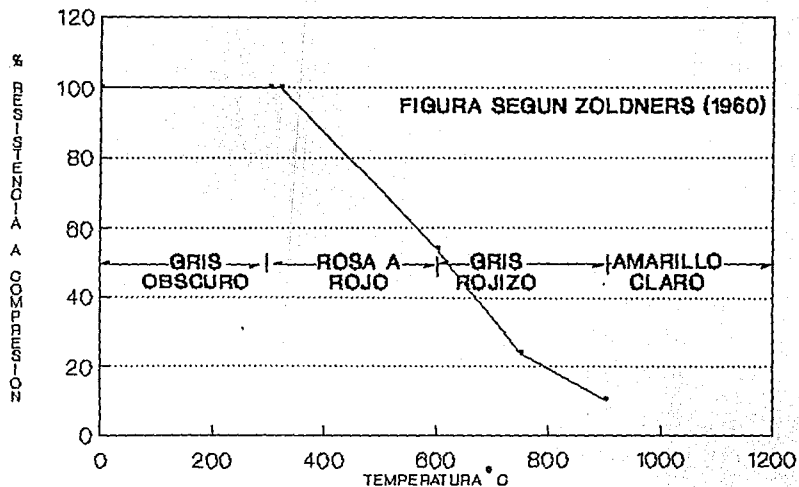
- a) Es la temperatura bajo la cuál se presenta una coloración rosada.
- b) Es la temperatura bajo la cuál el efecto del calor sobre la resistencia del concreto es insignificante en términos estructurales.

Los concretos sometidos a una temperatura entre 300 y 600 grados centígrados adquieren un color rosacé. La coloración rosada puede identificarse en todos los tipos de concreto y permanece después del enfriamiento.

Frecuentemente, la coloración es notoria y bien definida en una muestra desprendida de la superficie o en un corazón. Después de quitar el concreto color de rosa puede suponerse que el concreto restante tiene una resistencia promedio no menor del 80% de su resistencia anterior al incendio.

Los concretos expuestos a la temperatura de entre 600 y 900 grados centígrados se tornan de color grisáceos y de 900 grados centígrados en adelante de color crema o amarillentos.

CAMBIOS DE COLOR DEL CONCRETO AL SER SOMETIDO A DISTINTAS TEMPERATURAS



José Carmen Ramírez Martínez
Tesis profesional.
ENEP Acatlán

FIGURA No. 18

B) Desprendimientos.

Cuando se producen internamente grietas paralelas a la superficie del concreto, éste puede desprenderse debido a que allí es donde más rápido se alcanza la mayor concentración de calor y es donde

confluyen las tensiones causadas por la dilatación de las caras al ser calentadas.

El descascaramiento del agregado es debido a los cambios físicos o químicos que sufre al estar sometido a elevadas temperaturas, dicho descascaramiento solo se produce en la superficie del concreto.

Las causas de los desprendimientos se deben principalmente a los esfuerzos de tensión causados por el vapor de agua. Posteriormente al dilatarse el acero, suelen desprenderse los recubrimientos de concreto que lo protegían.

C) Agrietamiento.

Por efecto de los esfuerzos de tensión que ocurren al calentarse y enfriarse el concreto, se producen grietas perpendiculares a la superficie.

Las grietas pueden penetrar varios centímetros en el concreto generalmente con una forma irregular formando una red tipo piel de cocodrilo.

D) Pérdidas de adherencia del acero en el concreto.

La adherencia del acero se reduce en un 35% a temperaturas cercanas a los 450 grados y un 65% a 600 grados.

Entre 600 y 800 grados centígrados la adherencia prácticamente desaparece.

I.8 FACTORES QUE AFECTAN EL INCREMENTO DE LA TEMPERATURA EN EL CONCRETO REFORZADO.

1.- Tipo de agregado.

La figura #19 muestra la relación entre el espesor de una losa y la resistencia al fuego de concretos estructurales hechos con agregado grueso máximo de 3/4".

2.- Peso unitario.

La resistencia al fuego generalmente aumenta cuando existe un decremento en el peso unitario. Para concretos de baja densidad, la relación existente entre el peso unitario y la resistencia al fuego se puede observar en la figura #20.

3.- Contenido de humedad.

Generalmente un bajo contenido de humedad aumenta la resistencia al fuego.

4.- Contenido de aire.

Un elevado contenido de aire incrementa la resistencia al fuego, particularmente cuando es por encima del 10%.

5.- Concreto ligero con reemplazo de arena.

El reemplazo del agregado ligero por arena reduce la resistencia al fuego (ver figura 19).

6.- Tamaño máximo de agregados.

Cuando disminuye el tamaño máximo del agregado en los concretos de peso normal, la resistencia aumenta.

7.- Relación agua-cemento y contenido de cemento.

En pruebas elaboradas con estos parámetros, los resultados obtenidos por Abrams y Gustaferro (1968), nos demuestran que tienen muy poca influencia en la resistencia al fuego.

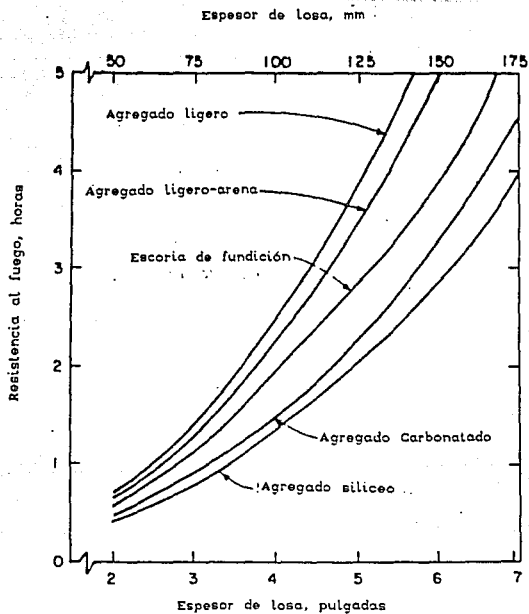


Fig. 19 Resistencia al fuego de losas de concreto con diferentes espesores y agregados.

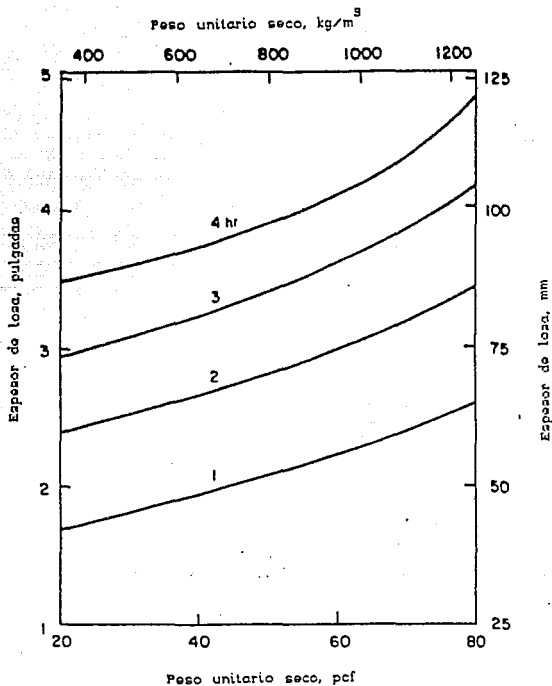


Fig. 20 Resistencia al fuego de losas tomando en cuenta el espesor y el peso unitario seco.

I.9 EFECTO DE LA UTILIZACION DE AGUA FRIA EN LA EXTINCION DE LOS INCENDIOS.

La utilización de chorros de agua durante un incendio puede llegar a provocar fisuración en el concreto a causa del choque térmico a que son sometidas las estructuras.

Esto produce contracciones bruscas en el concreto que dan lugar a una serie de fisuras y microfisuras a cierta profundidad, además de provocar desprendimientos de pequeños pedazos de concreto.

Por otra parte, el choque térmico provocado del agua sobre el acero que se encuentra sin recubrimiento puede llegar a templarlo, haciéndolo más frágil.

Por lo tanto, el enfriamiento brusco provocado por el agua a las superficies calientes puede ser tan dañino como el propio fuego.

I.10 EFECTOS INDIRECTOS DE LA ACCION DEL FUEGO.

En muchas ocasiones se detectan daños o lesiones en los elementos estructurales que se localizan fuera del área del siniestro, inclusive a veces en un piso superior o inferior, o que se encuentran distantes.

Por lo regular, estos daños se presentan en los elementos que tienen algún defecto de tipo constructivo o de diseño, las cuales se convierten en puntos vulnerables ante las sollicitaciones causadas por las deformaciones, cambios volumétricos o acumulación de tensiones que sufren las estructuras durante el incendio.

Tal es el caso de numerosas vigas y columnas que presentan severas grietas, difíciles de interpretar a simple vista, pero que después de investigaciones se determina que tienen algún defecto de tipo constructivo, por ejemplo, que tienen alguna deficiencia de armado (deficiencia o ausencia de estribos), juntas de colado mal ejecutadas o alguna falla en el concreto (vacíos o huecos).

En otras ocasiones la causa se debe a cambios bruscos de rigideces de un elemento a otro, al efecto ventana o columna corta (confinamiento parcial de una columna).

C A P I T U L O I I

PRUEBAS NO-DESTRUCTIVAS (ULTRASONIDO Y ESCLEROMETRO)

II.1 PRUEBAS NO-DESTRUCTIVAS.

En el presente capítulo se expone el tema de las pruebas no-destructivas que se utilizan en el análisis del concreto (esclerometro y ultrasonido), ya que es de vital importancia conocer los lineamientos que se siguen para la utilización del ultrasonido, pues recordemos que el título de la presente tesis implica su uso para determinar los daños que sufre el concreto al ser atacado por el fuego.

El término pruebas no-destructivas es una expresión que se aplica a una serie de técnicas destinadas a inspeccionar o probar un material sin perjudicar su empleo futuro, es decir, sin alterar sus propiedades.

La prueba no-destructiva más confiable es el método de auscultación ultrasónica o medida del pulso ultrasónico, el cual consiste en hacer pasar una onda de frecuencia determinada a través de la masa del concreto afectado, midiendo el tiempo que tarda el pulso en atravesarla.

Mediante el uso de este método se puede determinar con bastante precisión la profundidad o espesor del concreto dañado, ya que la velocidad del pulso ultrasónico en el concreto "quemado" es sensiblemente menor que en el concreto sano; además es posible detectar y ubicar grietas no visibles.

II.2 ULTRASONIDO (V-METER).

El uso del ultrasonido apareció en el año de 1945 en Canadá e Inglaterra generalizándose su uso en muchísimos países más, donde generalmente es conocido como el método de la velocidad del pulso ultrasónico.

El método de la velocidad del pulso ultrasónico consiste en medir el tiempo que tarda en desplazarse una pulsación ultrasónica a través del concreto que se encuentra sometido a prueba.

Estas pulsaciones son provocadas por un transductor electroacústico (transmisor) que se mantiene en contacto con la superficie del concreto a probar. Después de atravesar el concreto, las pulsaciones son recibidas y se convierten en energía eléctrica por un segundo transductor (receptor), localizado a una distancia "D" del transductor-transmisor. El tiempo de recorrido "T" se mide electrónicamente y la velocidad del pulso "V" se calcula dividiendo D/T.

El ultrasonido tiene varias aplicaciones entre las que se encuentran las siguientes:

- Determinación de la homogeneidad del concreto.
Con el uso del ultrasonido podemos conocer la homogeneidad del concreto midiendo la velocidad ultrasónica, que dependerá de distintas variables como: la compactación, el curado, el grado de humedad, la textura de su superficie, la edad y la presencia del acero de refuerzo.
- Además se puede utilizar para determinar: la velocidad de fraguado del concreto, el deterioro del concreto bajo la acción de congelación-deshielo y de los medios agresivos como sulfatos, ácidos, etc.
- Para estimar la presencia de vacíos y grietas del concreto y la profundidad de los mismos, detectar cambios en las propiedades del mismo, determinar el módulo de elasticidad y otros usos.

Una velocidad ultrasónica alta implica un concreto de mejor calidad, de acuerdo a las siguientes tablas de clasificación:

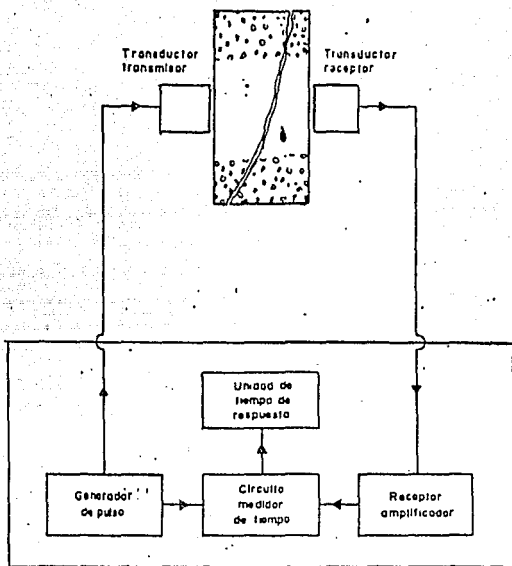


DIAGRAMA DEL CIRCUITO
 MEDIDOR DE LA VELOCIDAD
 DE PULSO

Clasificación de la calidad del concreto por medio de la velocidad de la onda, según Leslie y Cheesman.

Velocidad de la onda longitudinal (m/seg)	Condición del concreto
Más de 4570	Excelente
De 3650 a 4570	Buena
De 3050 a 3650	Regular a dudosa
De 2130 a 3050	Pobre
Menos de 2130	Muy pobre

Clasificación de la calidad según Agarwal y otros.

Velocidad de la onda longitudinal (m/seg)	Condición del concreto
Más de 3000	Buena
De 2500 a 3000	Regular
Menos de 2500	Pobre

II.3 TIPOS DE ONDAS GENERADAS POR EL ULTRASONIDO.

Cuando se aplican pulsos ultrasónicos a una masa sólida, la energía generada se irradia en todas las direcciones y se crean 3 tipos de ondas:

A) Ondas longitudinales.

Estas ondas son las de mayor rapidez ya que son el doble de rápidas que los otros 2 tipos y provocan un desplazamiento de partículas en el material en la misma dirección en la que la onda viaja.

B) Ondas transversales.

Son las siguientes en rapidez y provocan un desplazamiento de partículas en ángulo recto a la dirección del viaje.

C) Ondas superficiales.

Son denominadas ondas de Rayleigh y son más lentas. Estas viajan a lo largo de la superficie provocando un desplazamiento elíptico de partículas.

II.4 TRANSDUCTORES ELECTRICOS.

Los transductores eléctricos están formados por cristales piezoeléctricos generadores de las pulsaciones. Estos cristales provienen de la cristalización de rocas por efectos de presión con formas de discos de caras paralelas y planas, recubiertas por una capa fina de plata.

Cuando los discos se montan en un soporte de metal constituyen el llamado transductor.

Generalmente, los transductores se construyen para que produzcan pulsaciones longitudinales debido a su mayor rapidez comparada con las transversales y las superficiales.

II.5 DISTINTAS FORMAS DE COLOCACION DE LOS TRANSDUCTORES.

1) Transmisión directa.

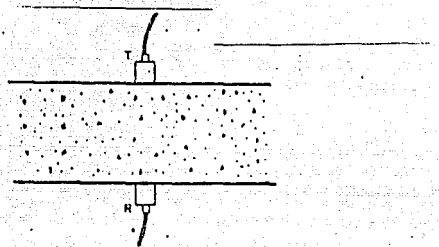
Consiste en colocar los transductores sobre las caras opuestas del espécimen de concreto que se está probando.

2) Transmisión superficial o indirecta.

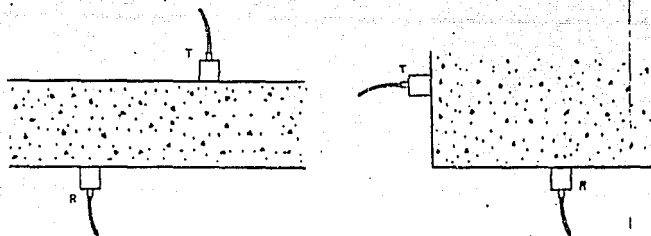
Este tipo de transmisión consiste en colocar los transductores sobre superficies perpendiculares y es usada sólo cuando es accesible una sola cara de la superficie del concreto. Sin embargo, este tipo de método es poco recomendable ya que indica solamente la calidad de la superficie y no da ninguna información acerca de las capas profundas del concreto.

3) Transmisión semidirecta.

Consiste en colocar los transductores paralelos sobre la misma superficie del concreto.



TRANSMISION DIRECTA



TRANSMISION SEMIDIRECTA



TRANSMISION INDIRECTA

METODOS DE TRANSMISION
DE LA VELOCIDAD DE PULSO
EN CONCRETO

II.6 FACTORES QUE AFECTAN LA MEDICION DE LA VELOCIDAD DEL PULSO ULTRASONICO.

A) Superficie del concreto.

En superficies de concreto lisas no existe ningún problema ya que existe un buen contacto acústico entre la superficie del concreto y la de los transductores.

Caso contrario, cuando la superficie es rugosa hay mayor problema ya que entre el concreto y el transductor existen varios espacios llenos de aire que ocasionan pérdidas de energía y consecuentemente dan una menor velocidad de propagación.

La energía elástica producida por un piezocristal, nunca debe aplicarse directamente sobre el concreto, sino por intermedio de una delgada capa de aceite, glicerina, jabón o jalea que se encarga de rellenar los huecos superficiales del concreto, favoreciendo así la transmisión de energía.

Una capa igual debe aplicarse entre el concreto y el transductor receptor.

B) Longitud de la trayectoria.

Como el concreto es un material inherente heterogéneo, es necesario que la trayectoria recorrida sea suficientemente larga para evitar algunos errores debidos a su heterogeneidad.

C) Humedad del concreto.

El contenido de humedad de un concreto influye sobre la velocidad del ultrasonido que pasa a través de él. La velocidad del pulso será mayor en un concreto cuyos poros esten llenos de agua que en aquel en el que se encuentren llenos de aire. Esta característica es más marcada para un concreto de baja resistencia que para uno de alta resistencia.

D) Temperatura del concreto.

Cuando el concreto se encuentra a una temperatura ambiente entre 5° y 30 °C, las medidas de la velocidad del pulso no se afectan significativamente.

Para una temperatura de -4 °C, la velocidad del pulso llega a incrementarse hasta en un 7.5% , esto debido a que, bajo temperaturas de congelación, el agua libre que existe dentro del concreto se congela y se provoca que la velocidad del pulso viaje más rápidamente.

En un mismo concreto la velocidad del pulso disminuye al aumentar la temperatura.

Se ha encontrado también que para temperaturas entre 30° y 60 °C, la velocidad del pulso sufre una reducción hasta del 5% . Para temperaturas mayores a 300 °C, la velocidad disminuye considerablemente con respecto a un concreto con temperatura ambiente, debido probablemente a la iniciación de micro-grietas en el concreto (en el aire la velocidad del pulso es más lenta).

E) La presencia del acero de refuerzo.

La presencia del acero de refuerzo afecta de manera considerable las medidas de la velocidad del pulso. En varias pruebas realizadas se ha encontrado que la velocidad del pulso en el acero es casi el doble de rápido que la del concreto, por lo tanto, si las medidas de la velocidad del pulso se toman cerca de las varillas de refuerzo, las lecturas obtenidas son muy altas y no representan la verdadera velocidad del pulso dentro del concreto.

Lo más conveniente sería escoger una trayectoria de pulso que evite la influencia del acero de refuerzo, pero como no es posible realizar esto, se han elaborado tablas con factores de corrección que toman en cuenta la orientación del acero con respecto a la trayectoria de propagación.

1.- Cuando las varillas de refuerzo son perpendiculares a la dirección de propagación de las ondas.

Si la cantidad de varillas de refuerzo es pequeña, la influencia sobre la velocidad del pulso también lo será.

Procedimiento:

1.1.- Se determinan los valores de L, Ls, V y Vc donde:

- L = longitud total de la trayectoria
- Ls = longitud total de la trayectoria a través de los diámetros de las varillas.
- V = velocidad del pulso en el concreto reforzado
- Vc = velocidad del pulso en el concreto sin refuerzo

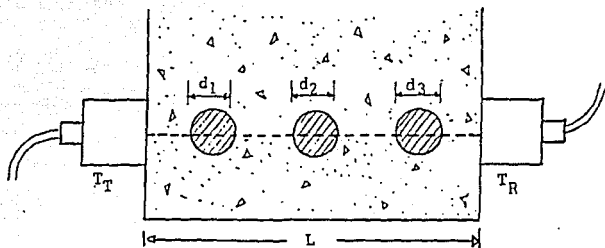
1.2.- Se calcula Ls/L y se considera la calidad del concreto:

Concreto	Vc
Pobre	3 Km/seg.
Regular	4 Km/seg.
Bueno	5 Km/seg.

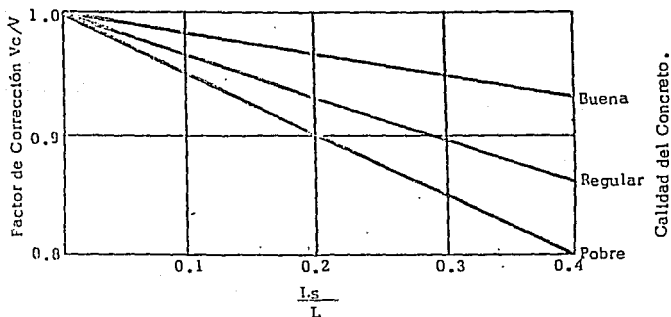
1.3.- Con el valor de Ls/L y la calidad del concreto se utiliza la gráfica siguiente para obtener el valor del factor de corrección (Vc/v).

1.4.- La velocidad del pulso obtenida en la medición se multiplica por el factor de corrección para obtener la verdadera velocidad del pulso en el concreto.

VARILLAS DE REFUERZO PERPENDICULARES
A LA DIRECCION DE PROPAGACION.



L_s = Longitud total de la trayectoria a través de los diámetros de las varillas.



2.- Cuando las varillas de refuerzo son paralelas a la dirección de propagación de las ondas.

En este caso la influencia del acero de refuerzo sobre la velocidad del pulso no se puede evitar, por lo que, los factores de corrección son aproximados.

Procedimiento:

2.1.- Se determinan los valores de L, a, V y Vc donde:

L = longitud total de la trayectoria

a = distancia entre el canto de la varilla y el punto más cercano de los transductores.

V = velocidad del pulso en el concreto reforzado

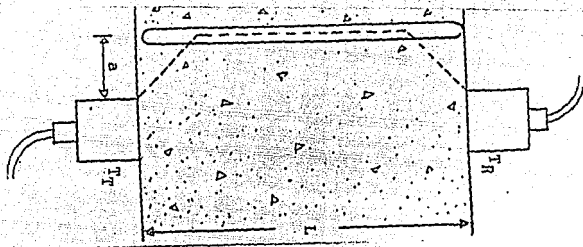
Vc = velocidad del pulso en el concreto sin refuerzo

2.2.- Se calcula a/L y se considera la calidad del concreto:

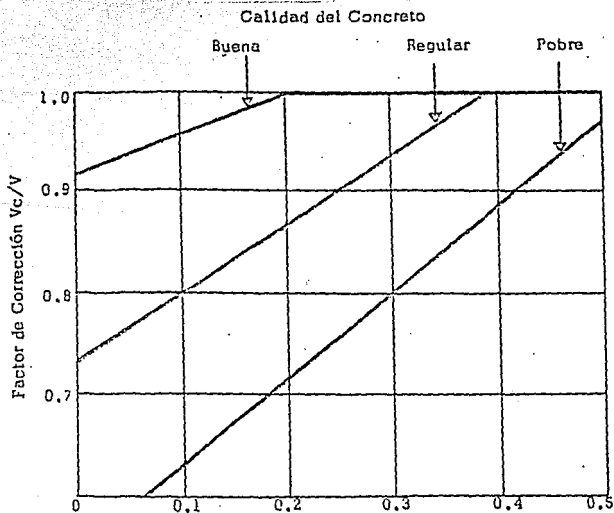
Concreto	Vc
Pobre	3 Km/seg.
Regular	4 Km/seg.
Malo	5 Km/seg.

2.3.- Con el valor de a/L y la calidad del concreto se utiliza la gráfica siguiente para obtener el valor del factor de corrección (Vc/V).

2.4.- La velocidad del pulso obtenida en la medición en el concreto reforzado se multiplica por el factor de corrección para obtener la verdadera velocidad del pulso en el concreto.



Varillas de Refuerzo Paralelas a la Dirección de Propagación.



$$\frac{a}{L}$$

En la figura #21 se observa que el gradiente de temperaturas en el interior de la masa del concreto tras un fuego de duración normal (aproximadamente una hora) no es estrictamente lineal, pero desde luego la distribución lineal es una buena aproximación para temperaturas superiores a 500 °C y una estimación razonable para temperaturas superiores a 300 °C.

Los daños producidos por el fuego en el concreto distan de ser lineales con la temperatura alcanzada. Las figuras # 22,23,24, 25 y 26 tomadas de los trabajos de Malhotra, Logothetis y Economou, Morley y Royles y el informe de febrero de 1981 del comité 216 del A.C.I., indican el comportamiento a altas temperaturas y el comportamiento residual del concreto y el acero. Parece ser que el factor determinante de los daños producidos por el fuego sería la adherencia concreto-acero, que comienza a afectarse a unos 300 °C y queda reducida a la mitad de su valor inicial tras una exposición a 500 °C, mientras que la resistencia residual del concreto, sería del orden de un 70% de la inicial. La influencia en la velocidad de propagación de la temperatura, se presenta en la figura #27, y muestra un comportamiento similar al indicado para la adherencia.

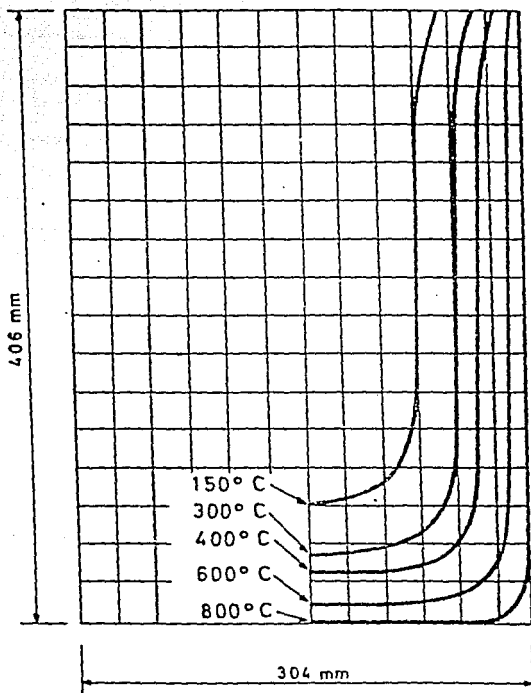


Fig. 21 Distribución de temperaturas tras 1 hora de exposición al fuego.

RESISTENCIA A COMPRESION A ELEVADA TEMP.
RESISTENCIA A COMPRESION A 18°C

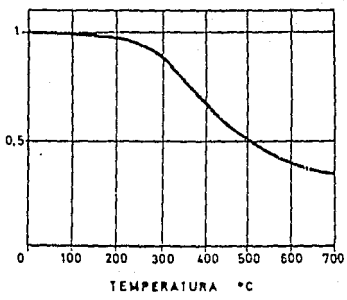


Fig. 22 Efecto de la temperatura en la resistencia del concreto a compresión.

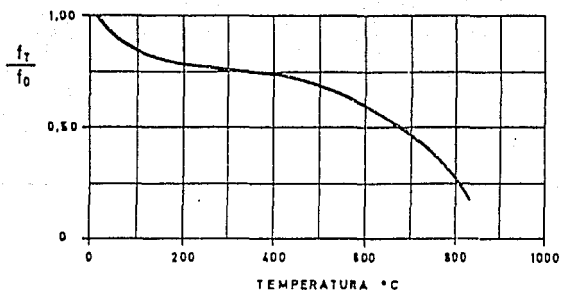


Fig. 23 Resistencia a la compresión residual tras calentar a varias temperaturas.

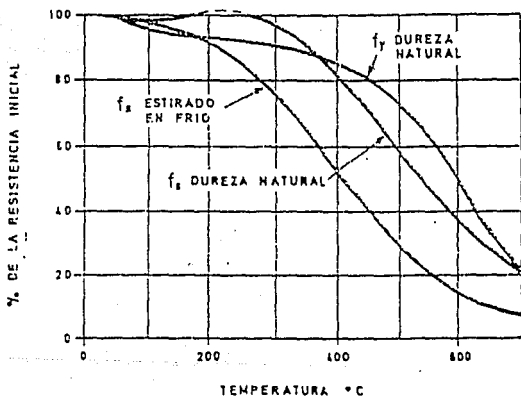


Fig. 24 Resistencia del acero a altas temperaturas.

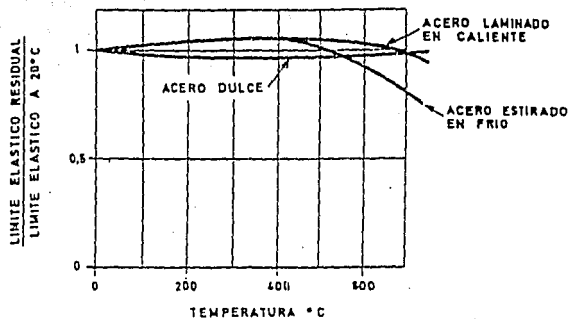


Fig. 25 Efecto de la temperatura en el límite elástico residual.

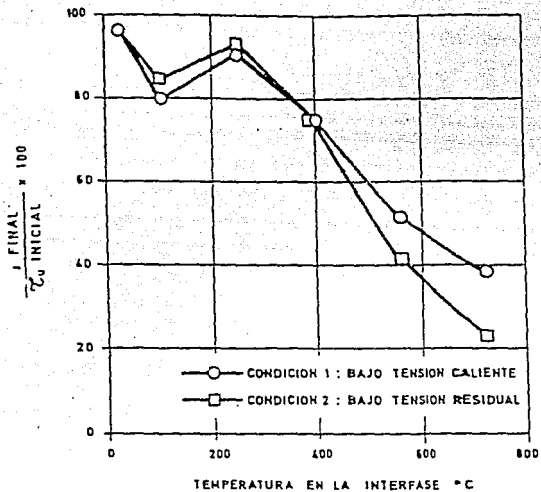


Fig. 26 Relaciones entre la tensión de rotura de adherencia y temperatura.

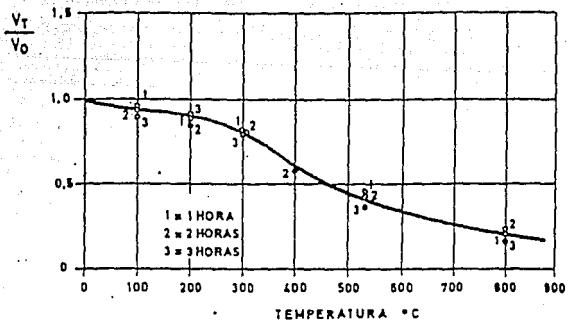


Fig. 27 Relación de velocidades de pulsación antes y después de calentar.

II.8 ESCLEROMETRO O MARTILLO DE SCHMIDT.

El empleo de este aparato no es recomendable en estructuras de concreto dañadas por el fuego, ya que nos proporciona poca información además de presentarnos grandes posibilidades de error en las lecturas debido a que la superficie del concreto es heterogénea, y por lo tanto presenta diversos comportamientos ante el ataque del fuego.

Debido a que en la investigación práctica de este trabajo de tesis no se utiliza este aparato por las razones antes expuestas, no se presenta una explicación detallada de las características del mismo.

C A P I T U L O I I I

PREPARACION DE ESPECIMENES DE CONCRETO

III PREPARACION DE ESPECIMENES DE CONCRETO.

El objetivo que se persigue con el presente capítulo es el de contar con especímenes de prueba hechos con agregados del Valle de México (en este caso: andesita), para ser sometidos al ataque del fuego a distintas temperaturas con el fin de efectuar un análisis de su comportamiento utilizando diferentes formas de enfriamiento.

El comportamiento de una de las características del concreto que más nos interesa conocer es el de su resistencia a compresión, para tal efecto, se ensayara la prueba del ultrasónido antes y después de ser sometido al ataque del fuego.

Después los cilindros afectados serán probados a compresión, para de está forma contar con parametros de comparación con respecto a lo que la bibliografía estudiada nos dice.

Las características del concreto empleado en la elaboración de los especímenes de prueba fueron las siguientes:

- El concreto fue tomado directamente de la obra ubicada en la calle de francia #38 de la delegación Alvaro Obregón, fue utilizado en el colado de losas de azotea reticulares de unos departamentos residenciales, cuya $f'c = 200 \text{ Kg/cm}^2$, agregado máximo de $3/4"$ y revenimiento de 14 cm.
- El concreto premezclado fue suministrado por la empresa Apasco, s.a de c.v.
- Se elaboraron un total de 35 cilindros de prueba de 10×20 cm. en el lugar mismo de la obra.

Los cilindros se elaboraron de acuerdo a las normas oficiales mexicanas NOM C-159-1985 (elaboración y curado en el laboratorio de especímenes de concreto) y NOM C-160-1987 (elaboración y curado en obra de especímenes de concreto) que establecen los procedimientos para elaborar y curar especímenes de concreto para las pruebas de resistencia a la compresión y a la flexión, que nos indican lo siguiente:

III.1 APARATOS Y EQUIPO.

a) Moldes cilíndricos.

Los moldes deben ser verticales de lámina gruesa, o de un material no absorbente, rígido. Los planos de las orillas deben formar un ángulo recto con el eje longitudinal, la diferencia de diámetros medidos en cualquier sentido no debe ser mayor de 1.5 mm y la altura no debe variar en más de 6 mm.

La base de los moldes metálicos debe ser una placa lisa del mismo material; en moldes de otro material la base puede ser metálica o integralmente moldeada del mismo material. Las bases deben contar con dispositivos de sujeción al molde para que formen un ángulo recto con el eje del cilindro.

b) Varillas para la compactación.

Según el tamaño del cilindro de prueba se especifican dos tamaños de varillas, cada una debe consistir en una barra lisa cilíndrica de acero, cuando menos con un extremo semiesférico, de diámetro igual al de la barra.

b.1) Varilla larga.

Consiste en una barra lisa de 16 mm. de diámetro y aproximadamente 60 cm. de largo.

b.2) Varilla corta.

Consiste en una barra lisa de 10 mm. de diámetro y aproximadamente 30 cm. de largo.

c) Herramienta auxiliar.

Se debe contar con herramientas auxiliares, tales como: palas, recipientes, llanas, enrasadores, cucharones, reglas, guantes de hule y charolas de lámina para mezclar.

III.2 ELABORACION DE ESPECIMENES.

a) Especímenes cilíndricos.

Los especímenes para determinar la resistencia a la compresión deben ser cilindros de concreto, colados en posición vertical, con longitud igual a dos veces el diámetro.

Se elaborarán para las pruebas de compresión, módulo de elasticidad, flujo plástico y compresión diametral, con un diámetro mínimo de 5 cm. y una longitud mínima de 10 cm.

b) Lugar para el moldeo.

Los especímenes deben moldearse inmediatamente después de obtenida y remezclada la muestra, sobre una superficie horizontal rígida, nivelada, libre de vibraciones y otras perturbaciones, en el lugar donde se almacenen a cubierto durante el primer día y deben evitarse golpes, inclinaciones del espécimen o alteraciones de su superficie.

c) Vaciado del concreto.

El concreto debe vaciarse con un cucharón en los moldes. Cada porción de concreto obtenida de la charola de mezclado debe ser representativa de la revoltura; es necesario remezclar el concreto en la charola con una pala o cuchara para prevenir la segregación durante el moldeo de los especímenes; debe moverse el cucharón alrededor del borde superior del molde a medida que el concreto vaya descargándose con el fin de asegurar una distribución homogénea del mismo y minimizar la segregación del agregado grueso dentro del molde. Posteriormente debe distribuirse el concreto usando la varilla de compactación antes de iniciar la misma. Durante el colado de la capa final, el operario debe añadir una cantidad de concreto tal que sobrepase el cupo del molde y lo llene totalmente después de la compactación.

d) Compactación mediante varillado.

Se coloca el concreto dentro del molde, en el número de capas que se especificuen de aproximadamente igual volumen cada una (en nuestro caso 3 capas). Se varilla cada capa con el extremo redondeado, efectuando el número de penetraciones especificado (25 penetraciones por capa).

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

Se varilla la capa inferior en todo su espesor, se distribuyen las penetraciones uniformemente en toda la sección transversal del molde, permitiendo que la varilla penetre aproximadamente 10 mm. dentro de la capa inmediata inferior, cuando el espesor de esa capa sea menor de 10 cm. y aproximadamente de 20 mm., cuando el espesor de la capa sea de 10 cm. o más. Si la varilla produce oquedades, se golpean ligeramente las paredes del molde para eliminarlas.

e) Acabado.

Después de la compactación se enrasa la superficie del concreto, si no se especifica el tipo de acabado, se termina la superficie con un enrasador de madera o de metal. Se efectúa el acabado con el mínimo de pasadas necesarias para producir una superficie plana y uniforme, que esté a nivel con las orillas del molde y que no tenga depresiones o promontorios de más de 3 mm.

f) Curado de cilindros.

Los especímenes de prueba elaborados deben retirarse de los moldes, de preferencia a las 24 hrs. después del moldeo permitiéndose un margen de entre 20 y 48 hrs. y almacenarse de inmediato en una condición húmeda a la temperatura de 23 ± 2 °C hasta el momento de la prueba.

El tratamiento de curado húmedo de los especímenes descimbrados significa que los especímenes de prueba tienen agua libre sobre toda la superficie en todo momento. Esta condición se cumple por inmersión en agua saturada de cal a la temperatura de 23 ± 2 °C, o con almacenamiento en un cuarto o gabinete húmedo, cuya humedad relativa sea del 95 al 100% y su temperatura de 23 ± 2 °C. Los especímenes no deben exponerse al goteo o corrientes de agua.



Fotografía #1

Muestra los moldes cilindricos usados para la elaboración de los especimenes de prueba (10x20 cm) y la diferencia de tamaño que guarda con los moldes usados regularmente (15x30 cm). Así mismo, se aprecia la zona en donde se funde el azufre utilizado para el cabeceo de los cilindros de concreto antes de someterlos a la prueba de resistencia a compresión.



Fotografía #2

Se aprecia el cuarto de curado y el acomodo por zonas de los especimenes de concreto conforme a la edad (7,14 y 28 días).

C A P I T U L O I V

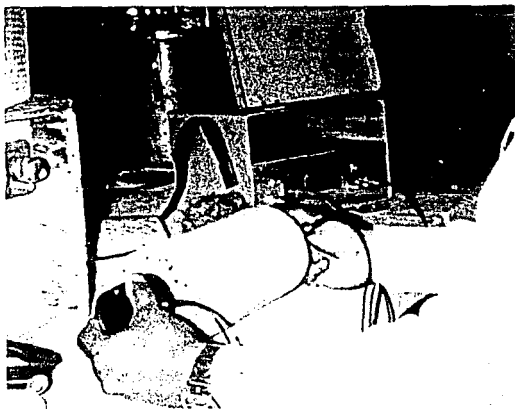
APLICACION DE ENSAYES NO-DESTRUCTIVOS

IV APLICACION DE ENSAYES NO-DESTRUCTIVOS.

Después de la elaboración de los 35 especímenes de concreto de acuerdo a las Normas mexicanas (NOM C-159-1985 y NOM C-160-1987), se procedió conforme a lo siguiente:

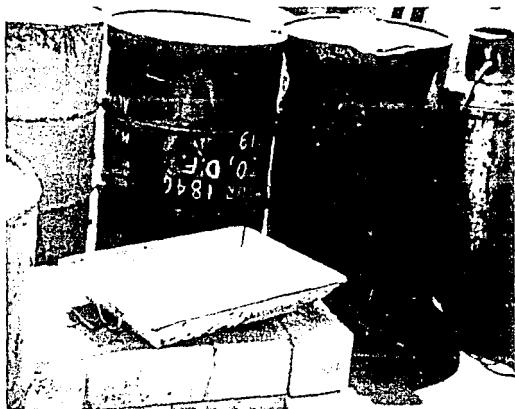
- 1.- Los especímenes fueron almacenados en la obra en un lugar libre de polvo y donde no se hicieron cambios de localización o movimientos bruscos de los mismos durante un período de 24 horas aproximadamente.
- 2.- Se procedió al descimbrado de los cilindros y a la transportación al Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (IMCYC), en donde se sometieron a la etapa de curado.
- 3.- Para comprobar el comportamiento del concreto con respecto a su resistencia a compresión, se tomaron 5 cilindros en forma aleatoria para someterlos a la prueba a la edad de 3 días (1 cilindro), 7 días (2 cilindros) y 28 días (2 más).
- 4.- Después de cumplida la etapa de curado de los cilindros, estos fueron colocados en la azótea del laboratorio del IMCYC para que secan durante algún tiempo (4 semanas), tratando de crear las condiciones en las que el concreto se encuentra en la realidad.
- 5.- A continuación fueron sometidos a la prueba del ultrasonido para determinar la velocidad del pulso antes de ser sometidos al fuego.
- 6.- Para realizar la etapa de sometimiento de los especímenes de concreto al fuego, se intentó contar con la colaboración del laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, del Instituto de Ingeniería, del laboratorio de concreto de la CFE y del propio IMCYC, instituciones que no pudieron prestarnos la ayuda necesaria por no contar con el equipo requerido (mufla con temperatura mayor a 1000 °C y termómetros que resistieran temperaturas mayores a 500 °C), por lo que se tuvieron que ensayar los especímenes en forma rudimentaria a fuego directo con la ayuda de un soplete.

Para tal efecto, fue necesario formar un pequeño horno con vigas de concreto en donde se dejó un pequeño orificio por donde se suministró el fuego, colocando en su techumbre una lamina de hierro para tratar de mantener una temperatura uniforme en su interior.



Fotografía #3

El momento en que se aplica la prueba de pulso ultrasónico, antes de ser afectados los especímenes por el fuego.



Fotografía #4

Se puede observar la forma en que se colocaron las vigas de concreto y la lámina de fierro para encerrar y mantener el calor lo más posible.

De esta forma rudimentaria, se sometían al fuego 2 especímenes de concreto cada hora.

El tamaño de este horno apenas fue el suficiente para que ensayaran sólo dos especímenes de concreto cada hora debido al tamaño del soplete usado.

Para probar los especímenes a 300 °C, se contó con la ayuda de un termómetro con graduación igual a la requerida, por lo que se sometieron 10 cilindros a esta temperatura durante un período de 1 hora.

Por no contar con termómetros de mayor escala, se decidió someter 15 cilindros más a una temperatura mayor a 300 °C - no conocida - durante el mismo tiempo.

- 7.- Inmediatamente después de la aplicación del fuego, los cilindros fueron sometidos a otra prueba. La mitad de los especímenes se dejaron enfriar en forma lenta a la temperatura ambiente y los restantes fueron enfriados bruscamente al contacto con el agua, para conocer de esta forma las reacciones del concreto, tanto cuantitativas como cualitativas con respecto a sus características normales.
- 8.- Se realizó la prueba de resistencia a la compresión a 5 cilindros que no fueron sometidos al fuego para conocer de esta manera la $f'c$ promedio en la que fluctuarían todos los especímenes de prueba antes de ser dañados.
- 9.- A continuación, los especímenes dañados fueron sometidos nuevamente a la aplicación del ultrasonido para conocer la velocidad del pulso después de ser atacados por el fuego.
- 10.- Los especímenes dañados por el fuego fueron pesados y sometidos a la prueba de resistencia a la compresión para conocer su comportamiento ante el fuego.
- 11.- Después de obtenidos los resultados se procedió al análisis y presentación de los mismos.



Fotografía #5

Muestra la forma en que los especímenes de prueba eran atacados por el fuego. Notese el desprendimiento de una porción de concreto durante el ensayo.

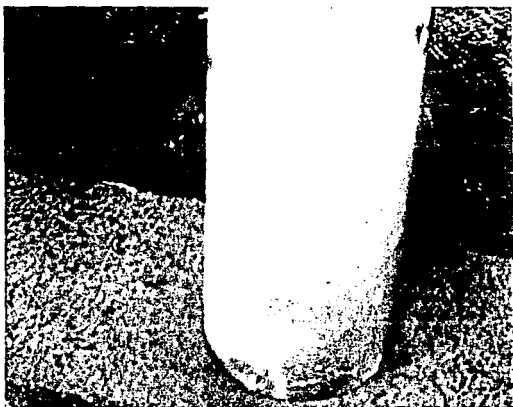


Fotografía #6
Muestra otro ángulo de la forma en que los especímenes fueron
atacados por el fuego.



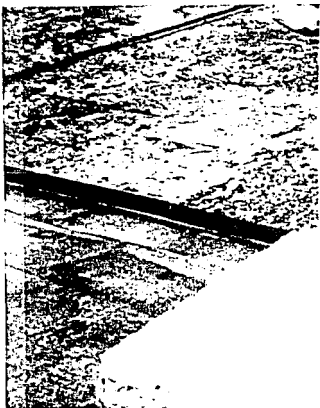
Fotografía #7

Se aprecia la zona que sufrió el ataque del fuego más severamente. Recuerdese que por el tipo de quemador, los especímenes de prueba sólo eran afectados por el fuego en forma parcial.



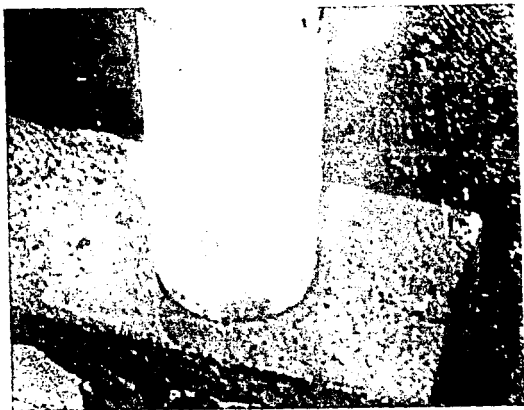
Fotografía #8

Muestra un espécimen después de ser sometido al fuego a una temperatura de 300 °C y enfriado bruscamente con chorros de agua, en el que se aprecian daños mínimos en cuanto a fisuración.



Fotografía #9

Se aprecia claramente la forma en que se desprendió una zona de concreto en el área donde existe un agregado mayor al especificado.



Fotografía #10

Se observa el momento en el que el espécimen es sometido a un chorro de agua después de ser sometido a temperaturas superiores a los 300 °C y la aparición inmediata de grandes fisuras.



Fotografía #11

Se pueden observar en su conjunto los especímenes de prueba al momento de cabecearlos con azufre y en el que se aprecian en toda su magnitud parte de los daños sufridos por el ataque del fuego y la forma utilizada de enfriamiento.

C A P I T U L O V
PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS

V.- PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS.

Resultados obtenidos en la aplicación del ultrasonido a los especímenes de prueba antes de ser sometidos a la acción del fuego.

CILINDRO No.	LONGITUD (METROS)	TIEMPO 1 MICROSEG.	TIEMPO 2 MICROSEG.	TIEMPO 3 MICROSEG.	VELOCIDAD 1 (M/SEG)
1	Especimen muestra para verificar resistencia a los 3 días				
2	0.1990	63.6	64.0	63.6	3128.93
3	0.2020	67.5	67.7	65.3	2992.59
4	0.2000	63.0	64.2	64.6	3174.60
5	0.1990	68.7	68.6	70.5	2896.65
6	0.2025	68.2	70.9	70.5	2969.21
7	0.2020	58.2	58.5	61.0	3470.79
8	0.1990	65.2	64.0	70.1	3052.15
9	0.2020	68.0	68.2	68.2	2970.59
10	0.2025	52.8	53.0	52.8	3835.23
11	0.1970	63.0	65.0	67.6	3126.98
12	0.2025	65.3	66.4	64.5	3101.07
13	0.2020	66.6	67.2	66.6	3033.03
14	Especimen muestra para verificar resistencia a 28 días				
15	0.2025	71.6	70.4	69.0	2828.21
16	0.2025	55.7	58.6	56.2	3635.55
17	0.2020	70.0	67.0	70.3	2885.71
18	0.2020	63.0	61.2	59.0	3206.35
19	0.2030	69.2	68.9	69.8	2933.53
20	Especimen muestra para verificar resistencia a los 7 días				
21	0.1990	66.2	65.7	65.8	3006.04
22	0.2020	52.0	53.9	54.5	3884.62
23	0.1980	67.2	67.9	67.4	2946.43
24	Especimen muestra para verificar resistencia a 28 días				
25	0.2030	50.8	54.4	50.2	3996.06
26	0.2025	68.9	66.5	68.8	2939.04
27	0.1990	68.0	66.2	69.2	2926.47
28	0.2020	67.7	69.7	69.9	2983.75
29	0.2020	68.9	67.4	69.4	2931.79
30	0.2020	70.6	68.6	70.8	2861.19
31	Especimen muestra para verificar resistencia a los 7 días				
32	0.1985	65.8	66.0	65.0	3016.72
33	0.2040	68.7	68.0	69.2	2969.43
34	0.2030	68.0	67.6	68.4	2985.29
35	0.2020	67.1	67.3	65.4	3010.43

De acuerdo a la bibliografía estudiada y a la tabla presentada por Agarwal en donde hace una clasificación de la calidad del concreto tomando en cuenta a la velocidad ultrasónica de la onda, el concreto utilizado en la elaboración de los especímenes es de buena calidad.

CILINDRO No.	VELOCIDAD 2 (M/SEG)	VELOCIDAD 3 (M/SEG)	VELOCIDAD PROMEDIO (M/SEG)
1	Especimen muestra para verificar resistencia a los 3 días		
2	3109.38	3128.93	3122.41
3	2983.75	3093.42	3023.25
4	3115.26	3095.98	3128.61
5	2900.87	2822.70	2873.41
6	2856.14	2872.34	2899.23
7	3452.99	3311.48	3411.75
8	3109.38	2838.80	3000.11
9	2961.88	2961.88	2964.78
10	3820.75	3835.23	3830.40
11	3030.77	2914.20	3023.98
12	3049.70	3139.53	3096.77
13	3005.95	3033.03	3024.01
14	Especimen muestra para verificar resistencia a 28 días		
15	2876.42	2934.78	2879.81
16	3455.63	3603.20	3564.79
17	3014.93	2873.40	2924.68
18	3300.65	3423.73	3310.24
19	2946.30	2908.31	2929.38
20	Especimen muestra para verificar resistencia a los 7 días		
21	3028.92	3024.32	3019.76
22	3747.68	3706.42	3779.57
23	2916.05	2937.69	2933.39
24	Especimen muestra para verificar resistencia a 28 días		
25	3731.62	4043.82	3923.84
26	3045.11	2943.31	2975.82
27	3006.04	2875.72	2936.08
28	2898.13	2889.84	2923.91
29	2997.03	2910.66	2946.49
30	2944.61	2853.11	2886.30
31	Especimen muestra para verificar resistencia a los 7 días		
32	3007.58	3053.85	3026.05
33	3000.00	2947.98	2972.47
34	3002.96	2967.84	2985.36
35	3001.49	3088.69	3033.53

=====
 velocidad promedio = 3111.67 m/seg

Resultados obtenidos en la aplicación del ultrasonido a los especimenes de prueba despues de ser sometidos a la acción del fuego.

CILINDRO No.	LONGITUD (METROS)	TIEMPO 1 MICROSEG.	TIEMPO 2 MICROSEG.	TIEMPO 3 MICROSEG.	VELOCIDAD 1 (M/SEG)
1	Especimen	muestra para	verificar	resistencia a los 3 días	
2	0.1990	221.1	141.6	129.5	900.05
3	Especimen	muestra para	verificar	resistencia a 90 días	
4	0.2000	162.6	152.5	155.8	1230.01
5	0.1990	107.4	114.6	126.0	1852.89
6	0.2025	76.0	76.0	80.1	2664.47
7	0.2020	71.6	65.8	62.6	2821.23
8	0.1990	80.7	87.6	95.2	2465.92
9	0.2020	129.1	118.3	110.2	1564.68
10	0.2025	155.2	168.3	221.6	1304.77
11	0.1970	135.5	133.1	137.2	1453.87
12	Especimen	muestra para	verificar	resistencia a 90 días	
13	0.2020	80.5	71.6	71.4	2509.32
14	Especimen	muestra para	verificar	resistencia a 28 días	
15	0.2025	80.4	75.5	71.1	2518.66
16	0.2025	67.6	68.4	78.5	2995.56
17	Especimen	muestra para	verificar	resistencia a 90 días	
18	0.2020	87.9	87.8	111.0	2298.07
19	0.2030	97.6	93.0	96.6	2079.92
20	Especimen	muestra para	verificar	resistencia a los 7 días	
21	Especimen	muestra para	verificar	resistencia a 90 días	
22	0.2020	94.7	108.5	134.2	2133.05
23	0.1980	87.9	75.2	74.5	2252.56
24	Especimen	muestra para	verificar	resistencia a 28 días	
25	0.2030	55.0	54.7	56.4	3690.91
26	0.2025	93.5	107.3	127.4	2165.78
27	0.1990	85.7	92.8	105.4	2322.05
28	0.2020	128.5	141.5	145.3	1571.98
29	0.2020	157.0	140.3	139.4	1286.62
30	0.2020	109.6	110.2	139.3	1843.07
31	Especimen	muestra para	verificar	resistencia a los 7 días	
32	Especimen	muestra para	verificar	resistencia a 90 días	
33	0.2040	166.1	157.0	140.8	1228.18
34	0.2030	78.4	79.2	82.5	2589.29
35	0.2020	86.3	76.6	75.8	2340.67

INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO
Y DEL CONCRETO, A. C.
Ingeniería Sur No. 1848, Col. Florida
México, D. F. C. P. 01030
Tel.: 860-31-78 y 860-31-88
524-22-60 Directo

LABORATORIO DE CONCRETO

DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA
COMPRESION DE CILINDROS DE CONCRETO

REFERENCIA
NOM-C-43

CLIENTE: JOSE CARMEN RAMIREZ MARTINEZ

UBRA Y DOMICILIO: DEPARTAMENTOS RESIDENCIALES, CALLE DE FRANCIA #30

DELEGACION ALVARO OBREGON

f. ESPECIFICADA 200 kg/cm², e. 28 días; ADITIVO:

ORDEN DE TRABAJO No. _____

INFORME TECNICO No. 245

RESPONSABLE DEL MUESTREO _____

INFORME DE MUESTREO
No. _____

FECHA DE RECEPCION EN LAB: _____

INFORME DE RECEPCION
No. _____

INFORME DE SUPERVISION
No. _____

SOLICITUD
No. _____

MUESTRA (S) No. (s) _____

ESPECIMENES
No. _____

MUESTRA No.	ESP. No.	REV. (cm)	FECHAS		EDAD (días)	DIAMETROS, cms			AREAS (cm ²)	ALTURA (cm)	VOLUMEN (cm ³)	PESO (gr)	PESO VOL. (kg/m ³)	CARGA MAX. (kg)	TIPO DE FALLA	ESFUERZO (kg/cm ²)	ESFUERZO PROMEDIO (kg/cm ²)
			COLADO	ENSAJE		D1	D2	DM									
1	1	14	5/XI/92	8/XI/92	3	10.1	10.1	10.1	80.12	20.2	1626.44	3420		5400	□	67.40	
2	20	14	5/XI/92	12/XI/92	7	10.1	10.1	10.1	80.12	20.3	1626.44	3410		9600	□	119.82	
3	31	14	5/XI/92	12/XI/92	7	10.1	10.1	10.1	80.12	20.3	1626.44	3437		9600	□	119.82	
4	15	14	5/XI/92	3/1/93	28	9.9	9.9	9.9	76.98	20.2	1555.00	3319		15500	□	201.35	
5	24	14	5/XI/92	3/1/93	28	10.1	10.1	10.1	80.12	20.3	1626.44	3528		17900	□	223.41	
															□		
															□		
															□		
															□		
															□		
															□		
															□		
															□		
															□		
															□		

CONDICIONES DE CURADO:

PERIODO DE CURADO: _____

TEMPERATURA AMBIENTE: _____

HUMEDAD RELATIVA: _____

INICIAL: _____

FINAL: _____

LOTE DE MORTERO DE AZUFRE No. 2

RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL

MORTERO DE AZUFRE PROBAO A LAS

2 HRS. 400 kg/cm²

OBSERVACIONES: _____

FECHA: 8/XI/92

LABORATORISTA: _____

SUPERVISOR: _____

APROBO: _____

MANUSCRITO

De acuerdo a la tabla proporcionada por Agarwal el concreto que en un principio era de buena calidad, al ser sometido al fuego paso a ser un concreto de pobre calidad.

CILINDRO No.	VELOCIDAD 2 (M/SEG)	VELOCIDAD 3 (M/SEG)	VELOCIDAD PROMEDIO (M/SEG)
1	Especimen muestra para verificar resistencia a los 3 días		
2	1405.37	1536.68	1280.70
3	Especimen muestra para verificar resistencia a 90 días		
4	1311.48	1283.70	1275.06
5	1736.47	1579.37	1722.91
6	2664.47	2528.09	2619.01
7	3069.91	3226.84	3039.32
8	2271.69	2090.34	2275.98
9	1707.52	1833.03	1701.74
10	1203.21	913.81	1140.60
11	1480.09	1435.86	1456.61
12	Especimen muestra para verificar resistencia a 90 días		
13	2821.23	2829.13	2719.89
14	Especimen muestra para verificar resistencia a 28 días		
15	2682.12	2848.10	2682.96
16	2960.53	2579.62	2845.24
17	Especimen muestra para verificar resistencia a 90 días		
18	2300.68	1819.82	2139.52
19	2182.80	2101.45	2121.39
20	Especimen muestra para verificar resistencia a los 7 días		
21	Especimen muestra para verificar resistencia a 90 días		
22	1861.75	1505.22	1833.34
23	2632.98	2657.72	2514.42
24	Especimen muestra para verificar resistencia a 28 días		
25	3711.15	3599.29	3667.12
26	1887.23	1589.48	1880.83
27	2144.40	1888.05	2118.17
28	1427.56	1390.23	1463.26
29	1439.77	1449.07	1391.82
30	1833.03	1450.11	1708.73
31	Especimen muestra para verificar resistencia a los 7 días		
32	Especimen muestra para verificar resistencia a 90 días		
33	1299.36	1448.86	1325.47
34	2563.13	2460.61	2537.67
35	2637.08	2664.91	2547.55
=====			
velocidad promedio =			2080.37 m/seg

INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO
Y DEL CONCRETO, A. C.
Inauguración Sur No. 1848, Col. Florida
Málaga, D. F. C. P. 01030
Tel.: 649-37-78 y 649-31-94
024-23-60 Diversa

LABORATORIO DE CONCRETO

ORDEN DE TRABAJO No. _____

INFORME TECNICO No. 246

RESPONSABLE DEL MUESTREO _____

INFORME DE MUESTREO No. _____

FECHA DE RECEPCION EN LAB: _____

INFORME DE RECEPCION No. _____

INFORME DE SUPERVISION No. _____

SOLICITUD No. _____

MUESTRA (S) No. (s) _____

ESPECIMENES No. _____

DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS DE CONCRETO

REFERENCIA NOM-C-83

CLIENTE: JOSE CARMEN RAMIREZ MARTINEZ
OBRA Y DOMICILIO: DEPARTAMENTOS RESIDENCIALES, CALLE DE FRANCIA # 38
DELEGACION ALVARO OBREGON.
f c ESPECIFICADA 200 kg/cm², n 28 dia; ADITIVO: _____

MUESTRA No.	ESP. No.	REV. (cms)	FECHAS		EDAD (dias)	DIAMETROS, cms			AREAS (cm ²)	ALTURA (cms)	VOLUMEN (cm ³)	PESO (grs)	PESO VOL. (kg/m ³)	CARGA MAX. (Kps)	TIPO DE FALLA	ESFUERZO (kg/cm ²)	ESFUERZO PROMEDIO (kg/cm ²)
			COLADO	ENSAYE		D1	D2	DM									
ER	2				90	0.10	0.10	0.10	78.54	19.9		2916		6800	<input type="checkbox"/>	86.58	
---	3	ESPECIMEN	MUESTRA		90	0.10	0.102	0.101	80.12	20.2		3241		19600	<input type="checkbox"/>	244.63	
EL	4				90	0.10	0.099	0.0995	77.76	20.0		2922		5600	<input type="checkbox"/>	72.02	
EL	5				90	0.10	0.099	0.0995	77.76	19.9		2871		10500	<input type="checkbox"/>	135.03	
ER*	6				90	0.101	0.101	0.101	80.12	20.25		3042		17500	<input type="checkbox"/>	218.42	
EL*	7				90	0.10	0.101	0.1005	79.33	20.20		3307		19700	<input type="checkbox"/>	248.33	
ER*	8				90	0.10	0.099	0.0995	77.76	19.90		2929		13600	<input type="checkbox"/>	174.90	
ER	9				90	0.10	0.10	0.10	78.54	20.20		2939		8100	<input type="checkbox"/>	103.13	
EL	10				90	0.10	0.102	0.101	80.12	20.25		3193		6800	<input type="checkbox"/>	84.87	
ER	11				90	0.10	0.099	0.0995	77.76	19.70		2751		4700	<input type="checkbox"/>	60.44	
---	12	ESPECIMEN	MUESTRA		90	0.10	0.102	0.101	80.12	20.25		3349		23000	<input type="checkbox"/>	287.07	
ER*	13				90	0.10	0.102	0.101	80.12	20.20		3138		15500	<input type="checkbox"/>	193.46	

CONDICIONES DE CURADO: _____ INICIAL: _____ FINAL: _____
PERIODO DE CURADO: _____
TEMPERATURA AMBIENTE: _____
HUMEDAD RELATIVA: _____

LOTE DE MORTERO DE AZUFRE No. 2
RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL
MORTERO DE AZUFRE PROBADO A LAS
2 HRS: 400 kg/cm²

OBSERVACIONES: EP = Enfriamiento rápido
EL = enfriamiento lento
* = temperatura 300 grados
= temperatura mayor 300

FECHA: _____

LABORATORISTA: _____

SUPERVISOR: _____

APROBO: _____

MANUSCRITO

INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO
Y DEL CONCRETO, A. C.
Insurgencias Sur No. 1848, Col. Florida
México, D. F. C. P. 01080
Tel. - 660-27-78 y 660-31-88
824-23-60 Director

LABORATORIO DE CONCRETO

DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA
COMPRESION DE CILINDROS DE CONCRETO

REFERENCIA
NOM-043

CLIENTE: JOSE CARMEN RAMIREZ MARTINEZ
DRA Y DOMICILIO: DEPARTAMENTOS RESIDENCIALES, CALLE DE FRANCIA #38
DELEGACION ALVARO OBREGON.
E ESPECIFICADA Z00 kg/cm², e 28 días ADITIVO:

ORDEN DE TRABAJO No. _____

INFORME TECNICO No. 244

RESPONSABLE DEL MUESTREO _____

INFORME DE MUESTREO
No. _____

FECHA DE RECEPCION EN LAB: _____

INFORME DE RECEPCION
No. _____

INFORME DE SUPERVISION
No. _____

SOLICITUD
No. _____

MUESTRA (SI No. G) _____

ESPECIMENES
No. _____

MUESTRA No.	EAF. No.	REV. (cm)	FECHAS		EDAD (días)	DIAMETROS, cm			ÁRREA (cm ²)	ALTURA (cm)	VOLUMEN (cm ³)	PESO (gr)	PESO VOL. (kg/m ³)	CARGA MÁX. (kg)	TIPO DE FALLA	ESFUERZO (kg/cm ²)	ESFUERZO PROMEDIO (kg/cm ²)
			COLADO	ENSAYE		D1	D2	DM									
ER*	15				90	0.10	0.101	0.1005	79.33	20.25		3120		16300	<input type="checkbox"/>	205.47	
EL	16				90	0.101	0.101	0.101	80.12	20.25		3299		17740	<input type="checkbox"/>	221.42	
--	17	ESPECIMEN	MUESTRA		90	0.10	0.10	0.10	78.54	20.20		3218		20000	<input type="checkbox"/>	254.65	
EL	18				90	0.10	0.102	0.101	80.12	20.20		3197		12600	<input type="checkbox"/>	157.26	
ER*	19				90	0.10	0.102	0.101	80.12	20.20		3022		12500	<input type="checkbox"/>	156.02	
--	21	ESPECIMEN	MUESTRA		90	0.10	0.098	0.099	76.98	19.90		3142		22100	<input type="checkbox"/>	287.09	
ER	22				90	0.101	0.101	0.101	80.12	20.20		3190		7900	<input type="checkbox"/>	98.60	
EL*	23				90	0.10	0.099	0.0995	77.76	19.80		2911		13600	<input type="checkbox"/>	174.90	
EL*	25				90	0.10	0.102	0.101	80.12	20.30		3474		23900	<input type="checkbox"/>	298.30	
EL	26				90	0.10	0.101	0.1005	79.33	20.25		2972		10360	<input type="checkbox"/>	130.59	
ER	27				90	0.10	0.099	0.0995	77.76	19.90		2874		12500	<input type="checkbox"/>	157.60	
ER	28				90	0.10	0.101	0.1005	79.33	20.20		2928		7300	<input type="checkbox"/>	92.07	

CONDICIONES DE CURADO: INICIAL: _____ FINAL: _____
PERIODO DE CURADO: _____
TEMPERATURA AMBIENTE: _____
HUMEDAD RELATIVA: _____

LOTE DE MORTERO DE AZUFRE No. 2
RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL
MORTERO DE AZUFRE PROBADO A LAS
2 HRS: 400 kg/cm²

OBSERVACIONES: ER = Enfriamiento rápido
EL = Enfriamiento lento
* = temperatura 300 grados
- = temperatura mayor 300

FECHA: _____

LABORATORISTA: _____

SUPERVISOR: _____

AFROBO: _____

ARCHIVO LABORATORIO

INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO
Y DEL CONCRETO, A. C.
Incorporadas Sur No. 1846, Col. Florida
México, D. F. 06030
Tel.: 680-27-78 y 680-31-08
654-23-40 Directo

LABORATORIO DE CONCRETO

ORDEN DE TRABAJO No. _____

INFORME TECNICO No. 245

RESPONSABLE DEL MUESTREO _____

INFORME DE MUESTREO No. _____

FECHA DE RECEPCION EN LAB: _____

INFORME DE RECEPCION No. _____

INFORME DE SUPERVISION No. _____

SOLICITUD No. _____

MUESTRA (SI No. SI) _____

ESPECIMENES No. _____

DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS DE CONCRETO

REFERENCIA NOM-C-88

CLIENTE: JOSE CARMEN RAMIREZ MARTINEZ
OBRA Y DOMICILIO: DEPARTAMENTOS RESIDENCIALES, CALLE DE FRANCIA # 3B
DELEGACION ALVARO OBREGON.
f. ESPECIFICADA 200 kg/cm², e. 2B días, ADITIVO: _____

MUESTRA No.	ESF. No.	REV. (cms)	FECHAS		EDAD (días)	DIAMETROS, cms			AREA (cm ²)	ALTURA (cms)	VOLUMEN (cm ³)	PESO (grs)	PESO VOL. (kg/m ³)	CARGA MAX. (kg)	TIPO DE FALLA	ESFUERZO (kg/cm ²)	ESFUERZO PROYECTIVO (kg/cm ²)
			COLADO	ENSAYE		D1	D2	DM									
EL	29				90	0.10	0.102	0.101	80.12	20.20		2921		5500	<input type="checkbox"/>	68.65	
ER	30				90	0.10	0.102	0.101	80.12	20.20		2985		10200	<input type="checkbox"/>	127.31	
--	32	ESPECIMEN	MUESTRA		90	0.10	0.099	0.0995	77.76	19.85		3119		19600	<input type="checkbox"/>	252.06	
ER	33				90	0.10	0.102	0.101	80.12	20.40		2952		5900	<input type="checkbox"/>	73.64	
EL*	34				90	0.10	0.101	0.1005	79.33	20.30		3039		17340	<input type="checkbox"/>	218.58	
EL*	35				90	0.10	0.101	0.1005	79.33	20.20		3061		16320	<input type="checkbox"/>	205.72	
															<input type="checkbox"/>		
															<input type="checkbox"/>		
															<input type="checkbox"/>		
															<input type="checkbox"/>		
															<input type="checkbox"/>		

CONDICIONES DE CURADO: _____ INICIAL: _____ FINAL: _____
PERIODO DE CURADO: _____
TEMPERATURA AMBIENTE: _____
HUMEDAD RELATIVA: _____

LOTE DE MORTERO DE AZUFRE No. 2
RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL MORTERO DE AZUFRE PROBADO A LAS 2 HRS: 400 kg/cm²

OBSERVACIONES: ER= enfriamiento rápido
FI= Enfriamiento lento
* = Temperatura 300 grados
e = Temperatura mayor 300

FECHA: _____

LABORATORISTA: _____

SUPERVISOR: _____

APROBO: _____

MANUSCRITO PARA MECANOGRAFIA

Este informe es válido por reproducción parcial o total, siempre, en la reproducción por medio del IMCYC.

FORMA LC-03-88

Resultados obtenidos de los especimenes de prueba que fueron tomados como muestras para verificar la resistencia a compresi3n.

GRUPO SIN FUEGO

CILINDRO No.	EDAD DIAS	ESFUERZO Kg/cm2	VELOCIDAD ULTRASONICA m/seg.
1	3	67.40	
20	7	119.82	
31	7	119.82	
14	28	201.35	
24	28	223.41	
3	90	244.63	3023.25
12	90	287.07	3096.77
17	90	254.65	2924.68
21	90	287.09	3019.76
32	90	252.06	3026.05
PROMEDIO =		265.10	

Resultados obtenidos de los especimenes de prueba que fueron sometidos al ataque del fuego a una temperatura de 300 grados centigrados y enfriados de diferente manera.

GRUPO FUEGO 300 °C

CILINDRO No.	EDAD DIAS	ESFUERZO Kg/cm2	VELOCIDAD ULTRASONICA		PESO (Kg)	
			ANTES	DESPUES	ANTES	DESPUES
ENFRIADO LENTO						
25	90	298.30	3923.84	3667.12	3.607	3.474
34	90	218.58	2985.36	2537.67	3.257	3.039
23	90	174.90	2933.39	2514.42	3.115	2.911
35	90	205.72	3033.53	2547.55	3.261	3.061
7	90	248.33	3411.75	3039.32	3.477	3.307
PROMEDIO		229.17	3257.57	2861.22	3.343	3.158
PERDIDA %		13.55		12.17		5.53
ENFRIADO RAPIDO						
6	90	218.42	2899.23	2619.01	3.244	3.042
8	90	174.90	3000.11	2275.98	3.160	2.929
15	90	205.47	2879.81	2682.96	3.290	3.120
13	90	193.46	3024.01	2719.89	3.290	3.138
19	90	156.02	2929.38	2121.39	3.268	3.022
PROMEDIO		189.65	2946.51	2483.85	3.250	3.050
PERDIDA %		28.46		15.70		6.16

Resultados obtenidos de los especimenes de prueba que fueron sometidos al ataque del fuego a una temperatura mayor a 300 grados centigrados y enfriados de diferente manera.

GRUPO FUEGO > 300 °C

CILINDRO No.	EDAD DIAS	ESFUERZO Kg/cm2	VELOCIDAD ULTRASONICA		PESO (Kg)	
			ANTES	DESPUES	ANTES	DESPUES
ENFRIADO LENTO						
16	90	221.42	3564.79	2845.24	3.552	3.299
26	90	130.59	2975.82	1880.83	3.267	2.972
18	90	157.26	3310.24	2139.52	3.490	3.197
4	90	72.02	3128.61	1275.06	3.218	2.922
29	90	68.65	2946.49	1391.82	3.259	2.921
5	90	135.03	2873.41	1722.91	3.213	2.871
10	90	84.87	3830.40	1140.60	3.567	3.193
PROMEDIO		124.26	3232.82	1770.85	3.367	3.054
PERDIDA %		53.13		45.22		9.30
ENFRIADO RAPIDO						
27	90	157.60	2936.08	2118.17	3.131	2.874
33	90	73.64	2972.47	1325.47	3.276	2.952
2	90	86.58	3122.41	1280.70	3.208	2.916
30	90	127.31	2886.30	1708.73	3.279	2.985
9	90	103.13	2964.78	1701.74	3.252	2.939
22	90	98.60	3779.57	1833.34	3.556	3.190
28	90	92.02	2923.91	1463.26	3.261	2.928
11	90	60.44	3023.98	1456.61	3.062	2.751
PROMEDIO		99.91	3076.19	1611.00	3.253	2.942
PERDIDA %		62.31		47.63		9.57

ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.

Los resultados obtenidos de las pruebas realizadas en los especímenes de concreto, nos indican lo siguiente:

- A) De acuerdo a la bibliografía analizada, el comportamiento de los especímenes de prueba elaborados con el agregado del Valle de México (andesita), es similar al comportamiento del agregado denominado silíceo con respecto a la resistencia a compresión, después de ser atacados por el fuego.

Esto debido a que la andesita entre sus componentes químicos contiene una proporción de sílice y de carbonato, teniendo una mayor cantidad del primero que del segundo, por lo que se explica su forma de comportamiento.

- B) Los resultados obtenidos en cuanto a la resistencia a compresión nos indican según la figura #22, que la temperatura alcanzada en los especímenes de prueba ($T > 300$ °C) fue entre 500 y 600 °C.

La figura #27 que nos muestra la relación de velocidades antes y después de ser sometidos los especímenes al fuego corroboran la aseveración anterior.

- C) No se presentaron los cambios de color que nos indicaba la figura #20 debido al tipo de agregado usado en la elaboración de los especímenes de concreto y al tipo de material con que se provocó el fuego.
- D) Existieron algunos desprendimientos de concreto en los especímenes sometidos a temperaturas mayores a 300 °C, principalmente en zonas donde el tamaño del agregado era excesivo, además de encontrarse húmedos los núcleos en su interior.
- E) Es significativa la pérdida de peso de los especímenes de concreto provocada por el ataque del fuego.
- F) El uso del agua como una forma de enfriamiento rápido provocó que existieran agrietamientos superficiales muy fuertes, lo que influyó en la velocidad del pulso ultrasónico y en la resistencia a compresión de los especímenes.
- G) De acuerdo a la figura #3 en donde se muestra la influencia de la temperatura en la velocidad del pulso ultrasónico con respecto al enfriamiento lento y rápido, los resultados obtenidos con los especímenes de prueba son "aparentemente" erróneos, esto debido probablemente a lo siguiente:

1.- Ignoramos que tan confiables sean los resultados mostrados en la figura, pues no sabemos cuáles fueron las características del concreto empleado, ni los métodos usados de enfriamiento de los especímenes de prueba, pues fueron tomados de una tesis profesional de la Universidad de Londres realizada en el año de 1955.

2.- Desconocemos de igual manera el tipo de agregado usado y las condiciones con que se contó al momento de someter los especímenes al ataque del fuego.

3.- Es importante hacer notar que en la presente investigación por el tipo de quemador usado, los especímenes fueron atacados por el fuego sólo en forma parcial, lo que provocó en algunos casos que durante el ensaye se presentarán excentricidades en los resultados, al existir núcleos sanos dentro del concreto que influyeron en la velocidad del ultrasónido, al tomar un promedio de 3 lecturas.

H) Los resultados nos demuestran que la forma de enfriamiento utilizado en los especímenes de prueba a base de chorros de agua es perjudicial en cuanto a la resistencia, pues estos varían entre un 10 y un 15% más bajos, con respecto al enfriamiento lento a temperatura ambiente.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

1.- Es importante hacer notar que el uso del ultrasónido en este tipo de siniestros proporciona sólo en forma cualitativa el estado en el que se encuentra el concreto, motivo por el cual, es necesario que se obtengan corazones o núcleos en las zonas más dañadas y en donde la velocidad del pulso ultrasónico es baja para verificar la resistencia a compresión del elemento y determinar las condiciones en las que se encuentra.

2.- El uso del esclerometro es inadecuado en concretos dañados por el fuego, debido a que la superficie de los elementos afectados sufren carbonatación lo que incrementa su dureza y la información que nos proporciona es muy superficial.

Además, en algunas zonas del mismo elemento los agregados pierden resistencia al contacto con el fuego, lo que provoca que los resultados que nos da este aparato generalmente sean erróneos.

3.- El presente trabajo corroborará lo dañino que resulta el mal uso del agua en la extinción de los incendios, pues la forma de enfriamiento del concreto afecta directamente en la resistencia del mismo.

4.- Se recomienda extender este tipo de estudios contemplando otro tipo de quemadores y usando en las pruebas elementos de concreto reforzado, además del uso de los distintos tipos de agregados con que se cuenta en México.

5.- Es necesario e importante que en México existan lugares en los que se puedan realizar este tipo de investigaciones, ya que resulta inadmisibles que en un país donde se utiliza continuamente el concreto en la construcción de todo tipo de edificaciones y en el que los incendios son frecuentes, no se cuente con personal especializado, bibliografía nacional y mucho menos laboratorios equipados.

6.- Las recomendaciones y artículos dados por el Reglamento de construcciones del Distrito Federal de 1987, así como las normas técnicas complementarias referentes a la protección de las estructuras de concreto contra el fuego son muy pobres, ya que en ningún momento nos indican el tipo de agregado que debemos utilizar ni las ventajas de cada uno, los proporcionamientos de las mezclas que nos ofrecen mayores ventajas ante este tipo de siniestros y mucho menos las pruebas posteriores a las que se deben de someter los elementos al sufrir el ataque del fuego para verificar su estado.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA.

- ASPECTOS FUNDAMENTALES DEL CONCRETO REFORZADO.
González cuevas, Oscar.
Limusa.
México, 1989.
- APLICACIONES DE LOS ULTRASONIDOS AL ESTUDIO DE LA PATOLOGIA DEL HORMIGON EN DOS CASOS CONCRETOS
Izquierdo Bernaldo de Quiros, José María.
Departamento de patología de la construcción del instituto técnico de materiales y construcciones.
Madrid, España.
- CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO.
Ortiz Fernández, Alvaro.
Fundación para la enseñanza de la construcción (FUNDEC, A.C.).
México, 1986.
- DAÑOS POR INCENDIO EN LAS ESTRUCTURAS.
Beauperthuy, José Luis y Scannone, Rodolfo.
Revista construcción y tecnología.
Septiembre 1990. Vol. III. No. 28.
- DIAGNOSTICO Y EVALUACION DE CONSTRUCCIONES DE HORMIGON DAÑADAS POR EL FUEGO.
Delibes Liniers, Adolfo.
Escuela tecnica superior de arquitectura.
España.
- EL CONCRETO ARMADO EN LAS ESTRUCTURAS - TEORIA ELASTICA.
Pérez Alamá, Vicente.
Trillas.
México, 1991.
- ESTRUCTURAS DE CONCRETO RESISTENTES AL FUEGO.
Cembureau.
Instituto mexicano del cemento y del concreto.
1a. edición.
México, 1982.
- EXPERIENCE OF FIRES IN CONCRETE STRUCTURES.
A.K., Tovey y R.N, Crook.
SP 92-1.
U.S.A.
- FIRE RESISTANCE. HANDBOOK OF CONCRETE ENGINEERING.
Gustafarro, A.
Van Nostrand Reinhold Company.
Second edition.
New york, 1974.

- **GUIDE FOR DETERMINING THE FIRE ENDURANCE OF CONCRETE ELEMENTS.**
Melvin S., Abrams.
ACI committee 216. ACI 216 R-81.
1a. impresión.
Revised 1987.
- **LA PREVENCIÓN DE DAÑOS POR INCENDIO EN LA ARQUITECTURA.**
Herrera Zogby, Luis.
Limusa.
1a. edición.
México, 1981.
- **MARTILLO SCHMIDT. INFORME TECNICO.**
Urquijo Parra, Héctor.
Instituto mexicano del cemento y del concreto.
México, 1987.
- **NORMA OFICIAL MEXICANA. NOM C-159-1985.**
Industria de la construcción-concreto-elaboración y curado en el laboratorio de especímenes.
Secretaría de comercio y fomento industrial.
- **NORMA OFICIAL MEXICANA. NOM C-160-1987.**
Industria de la construcción-concreto-elaboración y curado en obra de especímenes.
Secretaría de comercio y fomento industrial.
- **NORMA OFICIAL MEXICANA. NOM C-192-1986.**
Industria de la construcción-concreto-determinación del índice de rebote utilizando el dispositivo conocido como esclerometro.
Secretaría de comercio y fomento industrial.
- **NORMA OFICIAL MEXICANA. NOM C-275-1986.**
Industria de la construcción-concreto-determinación de la velocidad de pulso-método de ultrasónido.
Secretaría de comercio y fomento industrial.
- **PRUEBAS DE PULSO ULTRASONICO EN ALGUNAS ESTRUCTURAS.**
S.K., Niyogi y M. Mukhopadhyay.
Revista IMCYC.
Julio-Agosto 1978. vol. 16. No. 93.
- **PRUEBAS NO-DESTRUCTIVAS DEL CONCRETO.**
Cervantes López, Roberto.
Tesis profesional.
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
Morelia, Michoacan 1983.
- **PRUEBAS NO-DESTRUCTIVAS EN CONCRETO ENDURECIDO.**
Franco Flores, Gabino.
Tesis profesional.
Universidad Autónoma de Puebla.
Puebla, 1978.

- REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL DISTRITO FEDERAL 1987.
Porrúa.
10a. edición.
México, 1989.
- REQUISITOS DE CALIDAD Y ECONOMIA EN LAS MEZCLAS DE CONCRETO.
Traducción de la revista Concrete construction.
Revista IMCYC.
Diciembre 1986. vol. 24. No. 187.
- STRUCTURAL FIRE PROTECTION-AN ENGINEERING APPROACH.
W.W, Stanzak.
Canadian Structural Engineering.
Conference March 1972.
Ottawa, Canada.
- TECNOLOGIA DEL CONCRETO. TOMO II.
Neville, Adam.
Instituto mexicano del cemento y del concreto.
México, 1985.
- TECNOLOGIA DEL CONCRETO.
Neville, Adam.
Instituto mexicano del cemento y del concreto.
3a. edición.
México, 1992.
- THE INFLUENCE OF HIGH TEMPERATURE ON THE BOND IN REINFORCED
CONCRETE.
P.D., Morley y R., Royles.
Fire safety journal.
July 1980. vol. 2. No. 4.
- TOLERANCIA DEL CONCRETO AL FUEGO.
Méndez, Francisco.
Revista construcción mexicana.
Abril, 1980.