

70
2eje.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**EVALUACION Y DIAGNOSTICO DE
ESTRUCTURAS DE CONCRETO
DAÑADAS POR 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 :

ADOLFO MARCELO LAGUNES RAMIREZ

México, D. F.

1994

**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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-154

Señor ADOLFO MARCELO LAGUNES RAMIREZ,
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud; me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Juan Luis Cottier Caviedes, y que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Civil.

"EVALUACION Y DIAGNOSTICO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO
DANADAS POR FUEGO"

- I. INTRODUCCION.
- II. DESCRIPCION DE LOS DANOS EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO OCASIONADAS POR FUEGO.
- III. METODOS DE EVALUACION DE DANOS EN EL CONCRETO
 - III.1 Ultrasonido
 - III.2 Esclerómetro
 - III.3 Petrigrafía de placa delgada
- IV. EJEMPLO DE EVALUACION DE UN EDIFICIO REAL
- V. CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

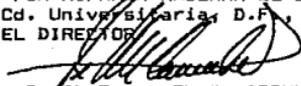
Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

A t e n t a m e n t e .

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cd. Universitaria, D.F., 11 de septiembre de 1991

EL DIRECTOR



ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS



JMCS/CRAC/ser

D E D I C A T O R I A S

UN AGRADECIMIENTO MUY ESPACIAL AL ING. JUAN LUIS
COTTIER CAVIDES, POR LOS CONOCIMIENTOS Y TIEMPO
DEDICADO PARA LA ELABORACION DE ESTE TRABAJO.

A MIS PADRE: ROBERTO Y Ma. GUADALUPE.

POR HABERME DEDICADO GRAN PARTE DE SU
VIDA PARA MI FORMACION.

A MIS HERMANOS: ROBERTO, MONICA Y DAVID

LOS QUE SIMPRE ME HAN APOYADO.

A TODOS LAS PERSONAS QUE DE ALGUNA MANERA
ME AYUDARON .

G R A C I A S

I N D I C E

1.- INTRODUCCION.

2.- DESCRIPCION DE LOS DAÑOS EN ESTRUCTURAS DE CONCRETOS OCASIONADOS POR EL FUEGO.

2.1 TRANSMICION POR TEMPERATURA.

2.2 ACERO PRESFORZADO A ALTAS TEMPERATURAS.

2.3 TIPOS DE DAÑO.

2.4 INSPECCION Y EVALUACION DEL DAÑO CAUSADO POR FUEGO.

2.5 REHABILITACION.

2.5.1 APLICACION MANUAL DE MORTERO.

2.5.2 COLADO DE CONCRETO EMPLEANDO CIMBRA.

2.5.3 CONCRETO LAZADO.

3.- METODOS DE EVALUACION DE DAÑOS EN EL CONCRETO.

3.1 INSPECCION VISUAL.

3.2 ULTRASONIDO.

3.2.1 INTRODUCCION.

3.2.2 DESCRIPCION DEL EQUIPO.

3.2.3 DESCRIPCION DEL ENSAYE.

3.2.4 ALTERNATIVAS DE POSICION DE LOS TRANSDUCTORES.

3.2.5 CRITERIO PARA LA SELECCION DEL PUNTO DE ENSAYE.

3.2.5.1 METODO PARA DETERMINAR LA DISTANCIA DE TRANSITO CON ARREGLO INDIRECTO.

3.2.6 ESTIMACION DE LOS DAÑOS PRODUCIDOS POR INCENDIOS.

3.2.7 INTERPRETACION DE DATOS.

3.3 ESCLEROMETRO

3.3.1 INTRODUCCION.

3.3.3 DESCRIPCION DEL ENSAYE.

3.3.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL EQUIPO.

3.3.4 RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE DEL CONCRETO.

3.4 PETRIGRAFIA DE PLACA DELGADO.

3.4.1 INTRODUCCION.

3.4.2 DESCRIPCION DEL ENSAYE.

3.4.3 EQUIPO PARA ANALISIS.

3.4.4 EFECTOS DEL FUEGO SOBRE EL CONCRETO.

4.- EJEMPLO DE EVALUACION EN UN EDIFICIO REAL.

4.1 DESCRIPCCION DE LA ESTRUCTURA A ANALIZAR.

4.2 ANALISIS DE RESULTADOS.

4.3 RESULTADOS OBTENIDOS.

4.5 MEMORIA FOTOGRAFICA.

5.- CONCLUSIONES.

6.- BIBLIOGRAFIA.

I.- INTRODUCCION

Durante más de cincuenta años, el fuego ha atacado en diferentes formas a las estructuras de concreto. en general el comportamiento es bueno, la resistencia natural del CONCRETO prevé una expansión del fuego en edificios y estructuras adyacentes, los colapsos durante y después del fuego son raros, en dado caso que se presenten daños, estos ocurren después de un largo periodo de exposición al fuego.

Históricamente hay muchos casos de ciudades que fueron consumidas por el fuego, por ejemplo, Chicago en 1871 y San Francisco en 1906, incendio que siguió al terremoto. En respuesta a la prevención de los desastres ocasionados por el fuego las ciudades adoptaron medidas estándar de construcción dirigidas a reducir los riesgos de conflagraciones. Por solo mencionar un ejemplo la atención recae en la construcción de chimeneas ya que se considera que construyendo un sistema de calefacción en los techos de los edificios se evita que un posible fuego se origine en el interior de la construcción. Si el fuego se propaga en el interior de una construcción sólo provocaría daños en el tejado haciendo un menor daño.

Las pérdidas por fuego constituyen una creciente carga en todos los países e influyen en el volumen de nuevas construcciones, en la economía nacional por sus pérdidas directas, así como las pérdidas en vidas, familias sin hogar, desempleo, por lo que constituyen una carga social que no puede pasarse por alto.

El fuego puede surgir durante y después de la construcción. Al presentarse, puede ocasionar severos y visibles daños. Esto puede ser debido a combustibles, malas instalaciones eléctricas; con una duración del fuego muy prolongada, mucha ventilación o alto contenido de agua y la baja resistencia del concreto.

En la protección contra el fuego fueron aplicados los principios de ingeniería en el diseño de construcción: por lo que se creó el concepto de límite de fuego, este se refiere a zonas establecidas hace varios años para proteger contra conflagraciones las áreas donde hay edificios altos, zonas comerciales, etc. Sin embargo, el uso de límites de fuego ha disminuido o desaparecido notablemente, el hueco que esto crea en la protección contra el fuego hace necesario introducir o adaptar previsiones al respecto en los códigos de construcción.

Las actuales medidas en los códigos de la construcción muestran que las normas no son las más adecuadas para este problema. Una de las deficiencias en estos códigos radica en el hecho de que no preve el señalamiento en el exterior de los edificios de su ignición (índices de combustión).

Los objetivos de diseño son dividir el edificio vertical y horizontalmente en secciones con una construcción resistente al fuego, para que los efectos de un incendio puedan localizarse y aislarse. La estructura de concreto generalmente proporciona las divisiones horizontales, en tanto que las divisiones verticales están constituidas por muros divisorios de tabique o bloques, o por muros de concreto que forman parte de la estructura. El diseño de una estructura en cuanto a una resistencia satisfactoria al fuego, debe incluir aspectos de la distribución general del diseño de elementos y detalles de los mismos.

Los aspectos sobre los efectos de un incendio en una estructura completa quedan fuera de los conocimientos obtenidos por las pruebas de resistencia al fuego de elementos estructurales individuales, por lo que los principios que se mencionan se han basado en incendios reales. Los dos aspectos importantes de los efectos de un incendio sobre una estructura completa son:

- a) el efecto de la expansión general.

- b) el efecto de continuidad y restricción ejercido por un elemento sobre otro.

La figura 1 muestra los datos de la expansión del concreto hecho con diferentes agregados. la expansión térmica no es una línea que trabaje a base de la temperatura pero aumenta con el calor; la expansión de arcilla de poco peso con la arena substituyen algunas de los más finos agregados. esta línea está contenida dentro de un rango de expansión el cual está sobre una temperatura que varía de 70 a 1600° f (21 a 871 °c), el promedio por la expansión térmica para el acero varía a una temperatura de 200 a 1200 ° f (93 a 649 °c) se muestra en la figura 2. El coeficiente de expansión de acero tampoco varía linealmente con la temperatura, pero sí aumenta conforme la temperatura se incrementa.

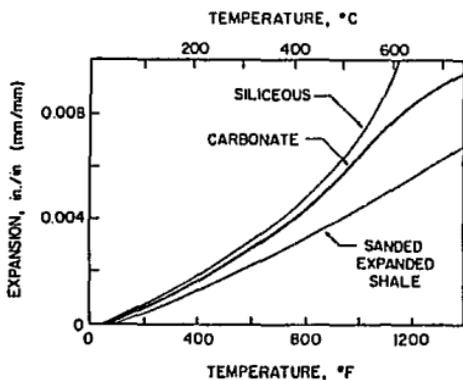


Fig. 1 Expansión del concreto

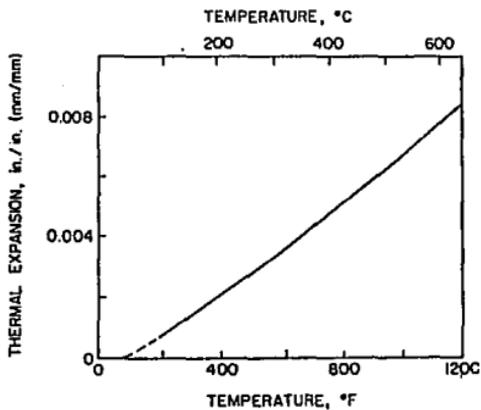


Fig. 2 Expansión del acero

Si el incendio en un edificio queda localizado en las secciones, una parte de la estructura estará sometida a temperaturas elevadas, en tanto que los elementos que la rodean estarán frescos. Por esto, surgirán esfuerzos térmicos considerables, debido a la restricción producidas por los elementos circundantes. Si el incendio abarca un piso completo de un edificio de varios niveles, la expansión del piso por el calor hará que las columnas tengan flexión o cortante; también es posible que las columnas sufran flexión cortante durante el período de enfriamiento después de un incendio.

Durante el incendio las losas y vigas se expanden y si existen algunas restricciones se presentará la fluencia debido a la compresión a la que estará sujeto el concreto. Después de enfriarse puede presentarse grietas debidas a la tensión y en casos severos pueden agrietarse las columnas. Por estas razones es útil limitar las dimensiones horizontales máximas de una estructura mediante juntas de expansión que sean capaces de absorber la expansión térmica debida al fuego.

Consideraciones similares pueden aplicarse respecto al sitio donde se localicen muros rígidos verticales de concreto. Es preferible citar las secciones rígidas de manera que no haya restricción para la expansión térmica.

Las pruebas de resistencia al fuego en los laboratorios casi siempre se llevan a cabo sobre elementos de concretos en formas aisladas. Las vigas y las losas son simplemente apoyadas en un solo claro sin proporcionar restricción en los extremos. En las estructuras reales los elementos actúan conjuntamente para resistir las cargas normales. Esta continuidad se toma en cuenta en el diseño y se detalla el refuerzo apropiado. Ejemplo de esta interacción son las losas en dos direcciones, las vigas continuas y las columnas y vigas de un marco. En condiciones de incendio proporciona una resistencia adicional al fuego que no siempre es tomada en cuenta por los reglamentos en vigor.

En caso de incendio, en una viga continua, el refuerzo inferior a tensión se calienta y, en consecuencia, pierde cierta proporción de su resistencia. Sin embargo, el refuerzo superior que resiste al momento negativo de los apoyos estará a una temperatura relativamente baja, y por tanto, será capaz de proporcionar apoyo continuo aunque con un factor de carga reducido.

Es más difícil determinar la interrogante del uso de restricción axial debido a la expansión térmica. Obviamente, si un tablero interno de un sistema de losas está a una temperatura elevada, se desarrollarán fuerzas horizontales y aumenta la capacidad de momento del apoyo y de las secciones en el centro del claro. De hecho la losa puede resistir también la carga aplicada por la acción de arco de membrana. Cuando se enfríe la estructura las tensiones axiales se reducirán o quedarán eliminadas y las cargas podrán ser soportadas de nuevo por acción de flexión.

Si el incendio ha sido severo es posible que ocurra una deflexión de importancia en la losa sin que haya derrumbe, y si se detalló correctamente el refuerzo, puede ocurrir una acción de membrana con el refuerzo a tensión actuando como catenaria.

Los resultados obtenidos sobre las estructuras de concreto dañadas por el fuego en más de cien construcciones se resumen en la siguiente tabla indicando el daño y las lesiones por reparar :

TIPO DE EDIFICIO	TIPO DE CONSTRUCCION	DAÑO	TIPO DE REPARACION
HOSPITAL	EN OBRA	DESCASCAMIENTO DEL PLAFON	DERRUBIO EN LA PARTE DURA
HOTEL	ARMOSTERIA Y PREAMADO	DESCASCAMIENTO EN PLAFON	REPARACION DEL PLAFON
TALLER	PONTAL PREAMADO	FRACTURAS DE LAS JUNTAS BISELADAS	SE REPARA
ESCUELA	VIGAS PRETENSADAS	DILATAION DE VIGAS	REPLAZADA
ESCUELA	ENTREPISOS PREAMADOS CON LARGUEROS PRETENSADOS	DAÑOS A LOS LARGUEROS	SE REFORZAN LOS LARGUEROS.
CUARTO DE CALDERAS	ESTRUCTURA PREAMADA	DAÑO EN LAS VIGAS DE Techo	REPARADO
ESCUELA	EN OBRA	DESCASCAMIENTO EN CONCRETO	CONCRETO REPLAZADO
SUPERMERCADO	VIGAS DE ACERO Y LOSA PREAMADA	DESCASCAMIENTO EN LOSAS	CONCRETO REPLAZADO
CENTRO DEPORTIVO	ESTRUCTURA DE ACERO	DESCASCAMIENTO EN CONCRETO	CONCRETO REPLAZADO
ESTACIONAMIENTO EN SOTANO	LOSA RETICULAR	DESCASCAMIENTO EN PLAFON	APLICACION DE MORTERO
PUNTE	EN OBRA	DESCASCAMIENTO EN EN VIGAS	APLICACION DE MORTERO
DEPARTAMENTOS	ARMAZON DE MADEIRA SOBRE VIGETAS DE CONCRETO	ARMAZON DESTRUIDO Y DESCASCAMIENTO EN VIGAS	ARMAZON REPLAZADO Y APLICACION DE MORTERO
ESTACIONAMIENTO	EN OBRA	DESCASCAMIENTO EN PLAFON	REPARADO

TIPO DE EDIFICIO	TIPO DE CONSTRUCCION	DAÑO	TIPO DE REPARACION
OFICINAS	LOSA RETICULAR	DESCASCAMIENTO	CONCRETO REEMPLAZADO
SUPERMERCADO	VIGAS DOBLE T, PRETENSADAS	DESCASCAMIENTO DE VIGAS	CONCRETO REEMPLAZADO
COLEGIO	PREFABRICADA	AREA DE SERVICIO.	SUBESTRUCTURA DE ACERO
OFICINAS	LOSA RETICULAR	DESCASCAMIENTO EN PLAFON	CONCRETO REEMPLAZADO
ESTACIONAMIENTO	ESTRUCTURA DE ACERO Y CONCRETO.	SEVERO	DEMOLICION
OFICINAS	ESTRUCTURA DE ACERO Y CONCRETO.	DESCASCAMIENTO DE VIGAS	CONCRETO REEMPLAZADO
HOSPITAL	EN CONSTRUCCION	SUJADO	REPARADO
ALMACEN	PREFABRADO	DAÑOS EN TODA LA CONSTRUCCION	DEMOLICION
CENTRAL ELECTRICA	ESTRUCTURA DE ACERO Y CONCRETO.	VIBRACION EN LA ESTRUCTURA DE ACERO DESCASCAMIENTO DEL CONCRETO	REPARADO
INWELLE PETROLERO	PILOTES DE CONCRETO	DAÑO SEVERO A LA ESTRUCTURA	DEMOLICION
ESCUELA	PREFABRICADA	PLAFON EN PRIMER PISO	REFORZO EN ACERO ESTRUCTURAL
RENCADO	ESTRUCTURA DE ACERO Y PREFABRADO	ACERO MUY DAÑADO Y DAÑO MINIMO EN EL CONCRETO	SE REEMPLAZO EL ACERO Y CONCRETO

Con estas investigaciones se pretende conocer el comportamiento de las estructuras expuestas al fuego y con esto poder realizar una estructura de concreto que tenga una mayor resistencia ante el fuego, ya que las estructuras se han comportado bien durante y después del fuego, con los procedimientos y materiales actuales, si a esto se le añade que se refuercen las estructuras su comportamiento es satisfactorio.

Un ejemplo de la información obtenida se aprecia en la figura 3. En ella se muestra el daño en las vigas principales de la estructura de concreto construida en 1930. El fuego ataca la estructura en 1983 y provoca una notable separación en el centro de la losa, las varillas presentan un pandeo en la parte central, la omisión de estribos en la parte central demuestran una deficiencia de construcción, a pesar de estos detalles la estructura se comportó adecuadamente; por lo que se debe tener un control en la supervisión más estricto.

Otro ejemplo se muestra en la figura 4 la cual es una losa reticular que fue diseñada para soportar apropiadamente los momentos flexionantes negativos y positivos a lo largo de la estructura, el efecto del fuego ocasiona al refuerzo inferior un pandeo ya que éste pierde el soporte.

Por lo que se recomienda que el cincuenta por ciento del refuerzo inferior debe ser continuo al soporte y el veinte por ciento del refuerzo superior debe ser continuo al tramo. Si la estructura ha sido adecuadamente diseñada con los refuerzos apropiados la probabilidad de pandeo hubiera sido menor.

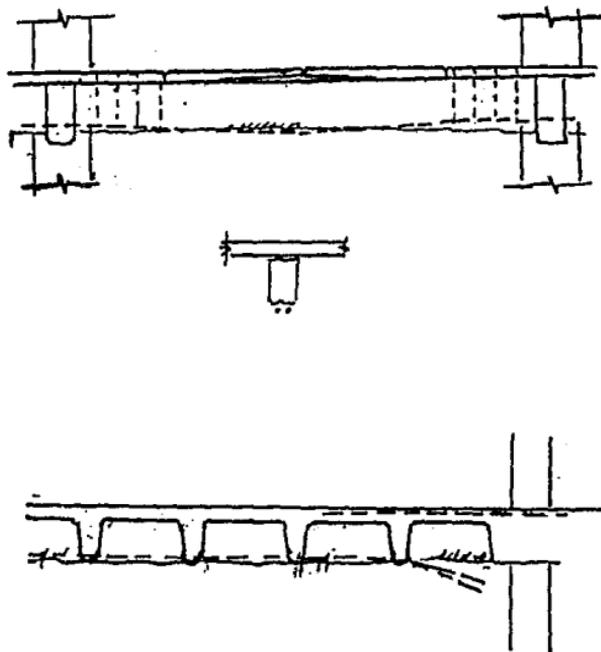


Fig. 3 Daños ocasionados en vigas.

II.- DESCRIPCION DE LOS DAÑOS EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO OCASIONADAS POR FUEGO.

El comportamiento de las estructuras de concreto en presencia del fuego depende de varios factores, éstos incluyen cambios en las propiedades del material, la distribución de la temperatura en los miembros estructurales, tipo de refuerzo, duración del fuego, etc. A continuación se presentan los efectos de las elevadas temperaturas y propiedades tanto del concreto como del acero.

2.1 TRANSMISION DE TEMPERATURA.

Las temperaturas a que se elevan los incendios reales de edificios 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 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. Una propiedad que es de gran ayuda en este proceso, es la reducción de conductividad que a altas temperaturas puede ser únicamente una

tercera parte del valor a temperaturas ambientales normales.

El resultado práctico de esta propiedad es, por ejemplo, que en una prueba típica en una 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.

La temperatura de 300 °C es importante por dos razones:

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

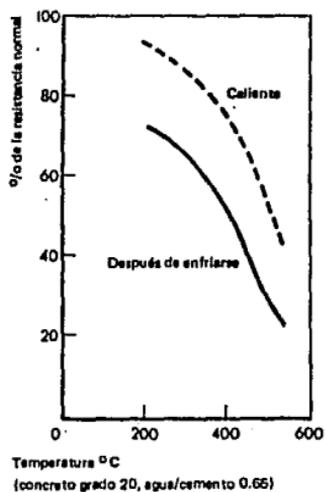
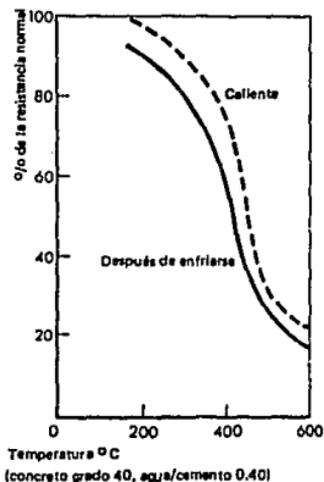
La coloración rosada se puede identificar prácticamente en todos los tipos de concreto y permanece después del enfriamiento. Con algunos tipos de agregado, algunas veces se requiere de un ojo experimentado y buena iluminación para descubrirla, pero frecuentemente la coloración es notoria y bien definida en una muestra desprendida de la superficie o en un corazón. De esta manera, en casi cualquier elemento de concreto sometido al fuego, existe un método fácil de identificar la

profundidad a la cual no penetraron temperaturas mayores que 300 grados centígrados.

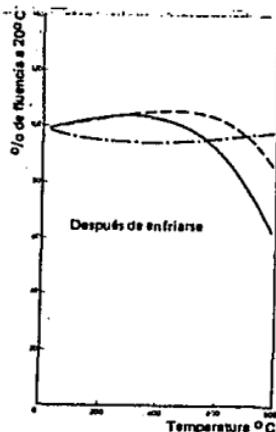
La resistencia del concreto disminuye conforme se eleve la temperatura y hay disminución al enfriarse, probablemente debido al microagrietamiento adicional. Esto se ilustra en la siguientes gráficas 1.1 , en las cual es evidente que, en condiciones prácticas, la mayoría de las estructuras de concreto expuestas a temperaturas no superiores a 300 °C conservan un 75% de resistencia residual.

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. Por lo general, esta reducción está adecuadamente compensada por el aumento en la resistencia, que resulta de una madurez incrementada desde que se logró la resistencia de diseño. De otra manera, una verificación del diseño frecuentemente mostrará que la resistencia máxima del diseño del concreto no se utilizó en su totalidad en el sitio afectado. Con base en las pruebas hechas se pudo determinar un factor de daño para un bloque a compresión a una temperatura menor de 100 °C el cual es igual a uno, cuando la temperatura está entre 100 a 300 °C el factor es 0.85 .

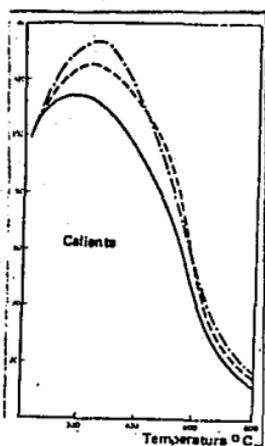
El efecto de altas temperaturas sobre la resistencia a la fluencia de las varillas de refuerzo comunes, durante la aplicación de calor y después del enfriamiento, se ilustra en las figuras 1.2 y 1.3. Existe un factor aproximado de carga total de 3, para la mayoría de los claros simplemente apoyados en condiciones promedio de carga parcial. Así pues, una baja en la resistencia a la fluencia del refuerzo, al 33% del valor normal, probablemente dé como resultado un derrumbe durante el incendio o, cuando menos, una flexión severa. La ausencia de esta evidencia es, por lo tanto, señal de que la temperatura del acero durante el incendio no excedió el valor de 600 °C aproximadamente, fig 1.2. En la figura 1.4 se observa que las temperaturas inferiores a este valor probablemente no hayan causado una importante reducción permanente de la resistencia a la fluencia. La conclusión puede ser entonces, que el refuerzo de los elementos sometidos a flexión que no muestren señales visibles de deformación severa, probablemente no hayan sufrido una reducción permanente en su resistencia residual a la fluencia.



Grafica 1.1 Resistencia del concreto a la compresión al calentarse y al enfriarse.

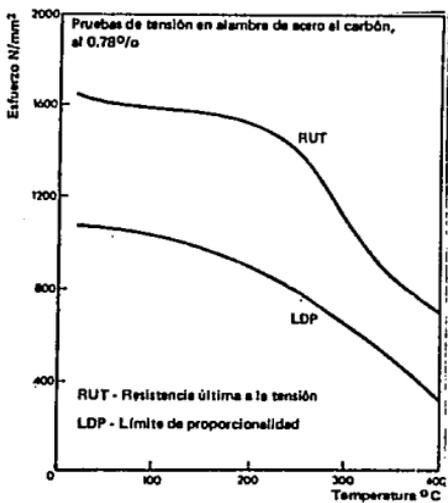


Gráfica 1.2 Resistencia a la fluencia del acero de refuerzo al enfriarse.



Gráfica 1.3 Resistencia a la fluencia del acero de refuerzo al calentarse.

- Acero Dulce.
- - - Fluencia del acero rolando en caliente.
- Fluencia elevada del acero trabajado en frío.



Grafica 1.4 Efectos de la temperatura en alambre.

2.2 ACERO PRESFORZADO A ALTAS TEMPERATURAS.

El efecto de la temperatura sobre las propiedades más relevantes del acero presforzado se resumen en las fig. 1.4 Y 1.5. Debe señalarse que además de la resistencia, pueden afectarse en forma permanente otras propiedades. Por ejemplo, los tendones de acero en un elemento presforzado que ha sobrevivido a un incendio pueden haber sufrido pérdidas sustanciales de relajamiento, adicionales a las previstas en el diseño normal. Este efecto se complica por la reducción de la proporcionalidad límite con el aumento en la temperatura. Si el estiramiento plástico se presenta cuando el esfuerzo se reduce a un valor menor al presfuerzo del alambre en el momento del incendio, entonces el presfuerzo se reduce de manera similar. En estos casos las pérdidas adicionales de relajamiento a temperaturas elevadas contribuyen a una reducción aún mayor del presfuerzo. El efecto puede observarse en las curvas de relajamiento de la fig. 1.5 en las cuales el esfuerzo inicial en el alambre se redujo hasta el límite de proporcionalidad a la temperatura existente.

Los valores que se indican son de alambre no tratado los cuales reducen pérdidas de relajamiento.

2.3 TIPOS DE DAÑO

Los elementos estructurales de concreto pueden verse afectados por descascaramientos y agrietamientos así como, en ciertos casos, por la acción de gases que contienen ácido clorhídrico, así como los que emite el PVC en ignición como resultado de su exposición al fuego. Se distinguen tres tipos de descascaramiento:

- a) Descascaramiento del agregado.
- b) Descascaramiento explosivo.
- c) Desprendimiento.

El descascaramiento del agregado se debe al estallido y fracturación de las partículas del agregado como resultado de cambios físicos o químicos bajo temperaturas elevadas. Por regla general, este descascaramiento es de poca extensión y se limita sólo a la superficie de elementos de concreto.

Las causas principales del descascaramiento explosivo son los esfuerzos de tensión causados por el vapor de agua, inducidos internamente, y por los esfuerzos de restricción debidos a la elevación de temperatura que siempre ocurre en un incendio. Los esfuerzos de tensión causados por movimientos de vapor de agua dependen, en gran parte, del contenido de humedad relativamente elevada en el concreto, por lo que es probable que entonces se desarrollen esfuerzos de tensión elevados.

El descascaramiento explosivo puede ser la causa de que parte del refuerzo estructuralmente importante quede expuesto. En elementos delgados pueden también causar perforaciones que reducen seriamente la sección transeversal estructural del concreto.

El descascaramiento por desprendimiento se refiere al de capas o trozos de concreto de tamaños diversos, que ocurren como resultado de una exposición al fuego bastante larga. Es producido por roturas o agrietamientos del concreto y es más probable que ocurra aumentando la deformación.

Las grietas son causadas por esfuerzos inducidos internamente, autoequilibrantes, que resultan de diferencias en la expansión térmica, asociada con la distribución irregular de temperatura sobre una sección transversal y por esfuerzos de restricción debidos a expansión diferencial entre el concreto y el refuerzo. Estos también, a su vez, pueden dar origen a descascaramiento explosivo o al desprendimiento de capas de concreto.

Los vapores de ácido clorhídrico que están presentes cuando se quema el PVC reaccionan con la pasta de cemento endurecida del concreto, dando origen a la formación del cloruro de calcio. La concentración resultante del cloruro, en una capa superficial aproximadamente de 10 mm de espesor es, sin embargo, muy baja en la mayoría de los casos. Una penetración más profunda de cantidades considerables de cloruro dentro del concreto, que puedan constituir un riesgo para el refuerzo, debe considerarse seriamente sólo en circunstancias en que la combustión de grandes cantidades de PVC provoque la presencia de elevadas concentraciones de ácido clorhídrico en los gases de combustión, o cuando los vapores ácidos pueden actuar sobre el concreto durante varios días, o cuando el concreto esté constantemente saturado de agua después de estar expuesto a los vapores.

2.4 INSPECCION Y EVALUACION DEL DAÑO CAUSADO POR FUEGO.

El trabajo real de reinstalación de la estructura debe estar precedido por una cuidadosa inspección y evaluación del daño sufrido. En este contexto es esencial lograr una estrecha coordinación de manera especial entre el propietario del edificio, el diseñador de la estructura, el especialista a quien se va a consultar y la constructora que se va a encargar de la reparación.

La naturaleza y localización precisa de los elementos estructurales afectados por fuego, con la debida atención a su función en el sistema estructural general, son de primordial importancia en la evaluación de la situación. Además, deben determinarse las dimensiones originales de los elementos dañados y los datos característicos de los materiales utilizados, por ejemplo, tipo de agregados, resistencia del concreto, tipo de acero, etc. Debe registrarse la extensión e índole del daño mediante información exacta sobre su extensión y mediante esquemas y fotografías.

Debe hacerse una lista, de preferencia poniendo por separado cada elemento integrante, de toda la información obtenida de planos de construcción y de otros documentos, así como de los valores determinados por exámenes y naturaleza del daño. Basándose en los resultados de la inspección y de la evaluación del daño, se decidirá entonces si es suficiente con la restauración de las condiciones existentes antes del incendio, si debe reforzarse la estructura, o si es necesario restaurarla totalmente.

Si se decide restaurar la estructura dañada a sus dimensiones originales, con la resistencia del concreto y del refuerzo anteriores, adecuándola de nuevo para soportar las mismas cargas de trabajo que antes, debe investigarse si es necesario efectuar un nuevo análisis estructural. Será necesario realizar dicho análisis por lo menos de las características especiales, si se altera el sistema estructural, si se refuerzan los elementos, si se modifican las cargas o dimensiones, o si se reduce la capacidad de carga de los elementos individuales.

Deberán darse instrucciones detalladas para llevar a cabo el trabajo de reparación y restauración. Es importante especificar con precisión la naturaleza, extensión y secuencia de las operaciones que se van a llevar a cabo, así como proporcionar una buena descripción de todo el apuntalamiento al igual que de otras medidas para salvaguardar la estructura.

De lo anterior es obvio que, para los elementos de concreto reforzado, las investigaciones subsecuentes a un incendio se inician con una exploración para identificar la profundidad de la coloración rosada. Pueden necesitarse muestras desprendidas con cincel o corazones taladrados de diámetro pequeño.

Se eliminará el concreto rosado. El concreto restante y el refuerzo ahogado no habrán soportado temperaturas superiores a los 300 °C y podrá suponerse que sus propiedades estructurales no han sido dañadas. El refuerzo que haya quedado expuesto por descascaramiento o que se encuentra dentro del concreto rosado deberá estudiarse más a fondo.

Puede suponerse que ocurrió exposición por descascaramiento durante el incendio si una o más varillas están severamente pandeadas entre los estribos o uniones, debido a la expansión térmica restringidas. Por el contrario, si las varillas expuestas no están pandeadas, es indicio de que el descascaramiento tuvo lugar un poco después de la exposición a temperaturas elevadas. En el primer caso es posible que la temperatura del acero haya sido superior a los 600 °C, pero en el último caso esto no es probable. En todos los casos en que exista duda deben efectuarse pruebas sobre muestras representativas del acero tomadas de zonas ligeramente reforzadas o de áreas en las que su reposición mediante traslapes sea adecuada.

Las pruebas de compresión sobre los corazones taladrados del concreto son de menor valor que las indicaciones obtenidas del examen de la coloración rosada. Sin embargo, pueden ser de utilidad cuando hay duda respecto a la resistencia lograda en la construcción original. La tensión en el acero presentado o en los ductos postensados expuestos por descascaramiento debe suponerse, generalmente, que es de cero. Para otros alambres o alambres retorcidos tensionados pueden estimarse las pérdidas adicionales mediante la evaluación de las temperaturas máximas que experimentó el acero.

Antes de proceder a la reparación de elementos que hayan estado expuestos a los gases de combustión que contengan ácido clorhídrico, debe precisarse hasta qué profundidad han penetrado los iones de cloruro y si hay riesgos para el refuerzo. Para esto puede usarse un método empleando indicadores de nitrato y cromato de plata.

2.5 REHABILITACION.

La eliminación del concreto afectado y la preparación de las superficies para su reparación requieren del máximo cuidado en la ejecución y supervisión. Es preferible emplear métodos manuales usando un martillo de peso no superior a un kilo, pero también puede usarse un martillo neumático o eléctrico de peso ligero (5 kg). La preparación final para lograr una superficie adherente debe hacerse con pistolas o por sopleteado con chorro de arena. En todos los casos será necesario emplear algún método para reponer el concreto descascarado o eliminado; comúnmente se emplean tres métodos que comprenden la aplicación manual de mortero, colado de concreto empleando cimbras en la obra y aplicación neumática de concreto o mortero.

2.5.1 APLICACION MANUAL DE MORTERO.

Esto es muy laborioso y requiere de una supervisión muy cuidadosa para que sea efectiva; su aplicación está, por tanto, limitada a situaciones en las que el fuego atacó áreas relativamente pequeñas. Es probable que el material no tenga la resistencia necesaria para soportar esfuerzos de compresión importantes y su uso es, principalmente, para la restauración del recubrimiento del refuerzo y para fines de acabados. Excepto en áreas muy pequeñas, debe aplicarse una malla

de alambre galvanizado ligero (tela de gallinero) amarrada al refuerzo o fijada mediante clavos. Cuando esta reparación se ejecuta en forma apropiada, puede restablecer efectivamente la resistencia al fuego del concreto descascarado.

2.5.2 COLADO DE CONCRETO EMPLEANDO CIMBRA.

Cuando el espesor sea suficiente para permitir el colado y compactación, éste será probablemente el método más económico y efectivo. Es particularmente útil cuando deben cimbrarse completamente las columnas para aumentar su sección.

2.5.3 CONCRETO LANZADO.

Las características más importantes de la aplicación de concreto lanzado, que es el método universalmente más aplicado, es que combina en una sola operación todas las que de otra manera se harían por separado, como el transporte, el colado y la compactación del concreto o mortero. Este método especial de colado de concreto puede utilizarse para elementos estructurales extremadamente delgados o para hacerse capas de la forma deseada sin necesidad de cimbrar para retener el concreto. En el lanzado seco solamente se mezclan el cemento y el agregado, y se lanza por medio de aire comprimido a través de una tubería o

manguera hasta una boquilla donde se añade el agua. Con menos frecuencia se emplea el método húmedo en el cual la mezcla terminada de concreto, ya con su contenido de agua, alimenta a la boquilla neumáticamente mediante bombeo.

La buena adherencia, que necesita el material recién colocado al concreto existente, se logra con el concreto lanzado; En pruebas de tensión efectuadas en corazones taladrados no se obtuvo nivel algunos de debilidad entre el concreto existente y el lanzado.

Sin embargo, para lograr esta buena adherencia, el concreto dañado debe prepararse cuidadosamente. Cuando todas las secciones flojas y dañadas del concreto se han quitado en cortes irregulares, es preferible limpiar y hacer áspera la superficie donde se va aplicar concreto lanzado, sopleteándola con chorros de arena.

Antes de proceder a la aplicación del concreto lanzado, cualquier varilla de refuerzo ligeramente deformada debe colocarse en su posición correcta y fijarse mediante clavijas o espigas. Las varillas con deformaciones más severas deberán quitarse y reemplazarse por varillas nuevas con las longitudes de traslape necesarias para empalmarlas. Deberán estar fijas de manera tal que no oscilen durante la aplicación del concreto lanzado y que se mantengan en posición adecuada.

El espesor de las capas individuales aplicadas por lanzado depende de factores locales entre los que se incluyen, de manera especial, la dirección del rociado. Por lo general, el espesor variará de 20 a 50 mm. De esta manera se reconstruye el concreto de capa en capa hasta obtener el espesor total requerido.

III.- METODOS DE EVALUACION DE DANOS EN EL CONCRETO.

3.1 INSPECCION VISUAL

Para poder dar un resultado certero de la estructura que se está analizando se debe antes tener la información suficiente. Para poder dar este resultado es importante hacer una buena inspeccion visual de los elementos que se están analizando. Para esto se deben tomar en cuenta los siguientes puntos:

a) Datos generales

- 1.- Nombre del edificio.
- 2.- Dirección.
- 3.- Razón social.
- 4.- Teléfono.

b) Descripción del edificio.

1.- Tipo de edificio.

2.- Tamaño de proyecto (área).

3.- Altura.

4.- Tipo de construcción (reforzado, pretensado).

5.- Descripción de los acabados, materiales y muebles existentes.

6.- Tipo de agretamiento.

7.- Tipo de refuerzo.

8.- Fecha de proyecto y construcción.

9.- Seguridad ante el fuego.

C) Datos del incendio.

1.- Fecha del incendio.

2.- Duración.

3.- Inicio del fuego.

4.- Examinación de los escombros.

D) Daños del fuego.

1.- Alcance del fuego.

2.- Alcance de la estructura afectada.

3.- Alcance local o general.

4.- Daños:

- Pisos

- Vigas

- Columnas

- Muros

E) Reparación

- 1.- se puede reparar o se tiene que reemplazar.
- 2.- Método para reparación.
- 3.- Si es reemplazo, por qué razón.

Teniendo todos los datos anteriores nos ayuda a obtener los resultados o las causas por las cuales la estructura está dañada, se deben dar importancia a los acabados que tiene el edificio, así como el inmobiliario, ya que estas descripciones nos ayudan a determinar la duración del incendio en áreas determinadas y, así poder compararlas con otras áreas y poder tener los diferentes efectos producidos.

Los daños ocasionados a las estructuras de concreto se tienen que analizar cuidadosamente y no se puede determinar un resultado inmediatamente, ya sea poder repararlo o tirar algún miembro de la estructura. Por lo cual se han hecho pruebas a largo plazo, las cuales proporcionan suficiente información para poder determinar una solución.

3.2 ULTRASONIDO

3.2.1 INTRODUCCION.

Entre las pruebas no destructivas se encuentra el uso del pulso ultrasónico llamado también Pundit o V-Meter, el cual hace posible conocer las características internas de superficies heterogéneas como lo son la madera y el concreto; excluyéndose los metales, ya que provocan una serie de irregularidades que afectan a los resultados.

El uso del pulso ultrasónico permite la medición de la velocidad de propagación de ondas elásticas; en un medio elástico está en función directa de su módulo de elasticidad, si existe una relación entre este módulo de elasticidad y la tensión de rotura del material, la medición del tiempo de recorrido en una distancia dada nos daría un procedimiento barato, fácil, cómodo y rápido de determinar dicha tensión de rotura, por lo que su uso se enfocará principalmente al conocimiento de las características del concreto como lo son: la homogeneidad, la presencia de grietas, los huecos, cambios en el concreto debido a ataques de fuego y agentes químicos, así como también la calidad del concreto.

Hacia el año de 1946 y a instancias de la comisión hidroeléctrica de energía de Ontario, Canada, se desarrollo un método que permitió examinar fisuras en estructuras de concreto monolítico. de estos experimentos surgió el Soniscopio que después se convertiría en el pulso ultrasónico y donde la diferencia entre el primero y este último es el rango de frecuencias con el que trabajan.

El concreto es un medio eminentemente anisótropo, y al atravesar cada interfaz, entre dos medios con módulo de elasticidad diferentes, cada vibración se divide en cuatro, dos ondas reflejadas (una longitudinal y otra transversal) y otras dos refractadas, con lo cual al atravesar la totalidad de la masa el impulso inicial se ha convertido en un paquete enormemente complejo de ondas cuyo análisis presenta dificultades de una magnitud tal que se considera poco probable, por el momento, que sus resultados prácticos compensen el esfuerzo y la tecnología y medios precisos para realizarlo. Por ello, los métodos actuales de prospección tienden más a medir la energía que va llegando del emisor al receptor y determinar el tiempo transcurrido desde la emisión hasta que alcanza un valor que se considera mínimo para ser representativo, instante en el cual un trigger detiene el reloj electrónico que se ha activado en el instante de la pulsación y se presenta en una pantalla digital el tiempo recorrido.

En las siguientes figuras se dan a conocer los diferentes casos que pueden presentarse durante la evaluación del concreto.

a) Las ondas sonoras viajan a través de la distancia más corta entre el transductor-receptor (fig. 1)

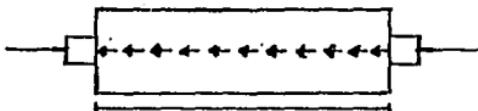


Fig. 1

b) Las ondas sonoras viajan a través del acero de refuerzo antes de hacerlo por el concreto. (fig 2)

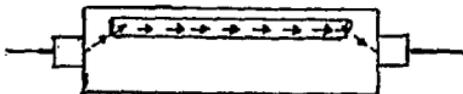


Fig. 2

- c) En caso de una grieta superficial las ondas sonoras viajan alrededor de la grieta. (fig 3)



Fig. 3

- d) En el caso de una grieta estrecha las ondas sonoras son parcialmente o totalmente reflejadas con una gran pérdida de amplitud incrementándose solo el tiempo de transmisión. (fig 4).

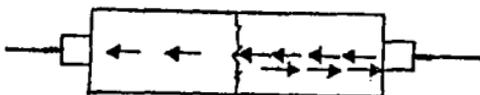


Fig. 4

- e) Grieta ancha, en este caso las ondas sonoras son totalmete reflejadas y no se recibe señal alguna. (fig 5)

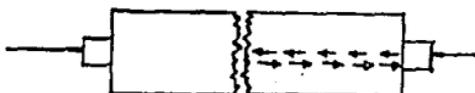


Fig. 5

- f) Cuando se encuentre huecos o micro-fisuraciones las ondas sonoras viajarán a través o alrededor de éstas con el consecuente incremento de tiempo en la recepción de estas ondas. (fig 6)

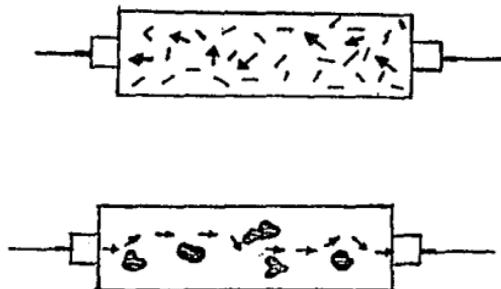


Fig. 6

El estudio de calidad del concreto por medio de ensayos no destructivos resulta necesario cuando el número de determinaciones precisas es suficientemente elevado para hacer antieconómico el estudio por medio de la extracción de probetas-testigo. El método elástico es el que se emplea para el estudio de la calidad del concreto en edificios de los que no se posee información sobre la calidad del concreto con base en la rotura de probetas de control o para individualizar resistencias en cada tramo de pilar cuando el control de obra ha dado resultados que obligan a realizar estudios de seguridad.

3.2.2 Descripción del equipo.

A continuación se señalan las partes principales del equipo y el uso de cada una.

a) Cara frontal (fig. 7)

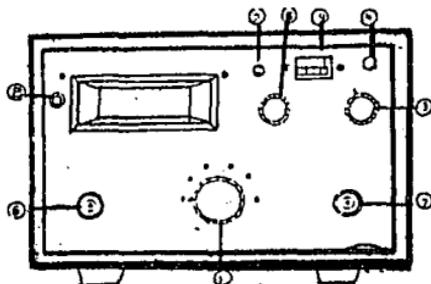
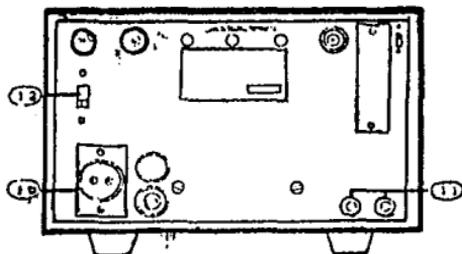


Fig. 7

- 1.- Botón de fuente de energía.
- 2.- Botón de rango.
- 3.- Botón para indicar las lecturas.
- 4.- Botón de ajuste con patrón de referencia.
- 5.- Contacto del receptor.
- 6.- Contacto del transmisor.
- 8.- Foco piloto de verificación de rango de lectura.

b) Cara Posterior



- 10.- Contacto de tres vías.
- 11.- Contacto de un milímetro.
- 12.- Botón lateral.

3.2.3 DESCRIPCION DEL ENSAYE.

El circuito generador del pulso ultrasónico consta de dos partes principales. Una unidad central que genera pulsos eléctricos de alto voltaje (500 voltios-1000 voltios) y dos terminales o transductores de los cuales uno es transmisor y el otro receptor.

El transductor transmisor convierte los pulsos eléctricos en impulsos de energía mecánica, que al ser aplicados sobre masa sólida generan tres tipos de onda:

- Ondas Longitudinales
- Ondas Transversales
- Ondas Superficiales

Las ondas que nos interesan son las longitudinales por su forma de transmisión y por ser las más rápidas. Estas ondas, que representarán en mayor medida el estado que guarda el concreto, producen frecuencias de vibración entre 15 khz y 50 khz, siendo esta última la mas apropiada para el concreto.

Una vez que la onda se transmite a través del concreto, es captada por el transductor receptor, el cual convierte la energía mecánica de la onda en pulso electrónico. Después de recibido, se obtendrá el tiempo de tránsito de la onda en el concreto que, junto con la distancia entre transductoras, ayudará a conocer la velocidad de pulso (fig 8). Esta velocidad se compara con diferentes criterios existentes como es el método analítico y es así como se conocerá el estado que guarda el concreto ensayado.

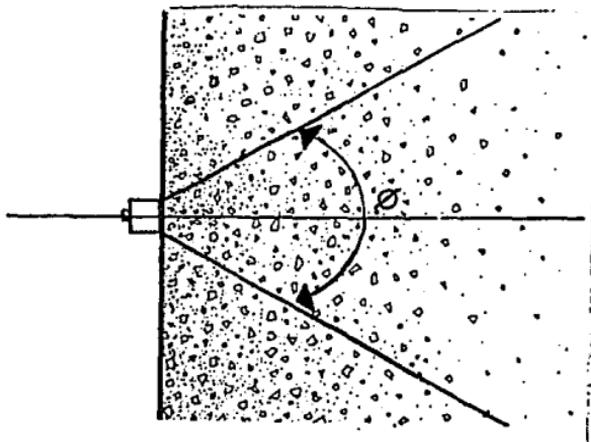


Fig. 8 Dispersión del haz del ultrasonido.

3.2.4 ALTERNATIVAS DE POSICION DE LOS TRANSDUCTORES.

Mientras sea posible deberá utilizarse la transmisión directa, ya que proporciona la máxima sensibilidad y provee una longitud de trayectoria bien definida. Sin embargo, algunas veces tiene que examinarse el concreto mediante el uso de trayectorias diagonales y, en estos casos, los arreglos semidirectores pueden usarse tomando en cuenta que la distancia que se va a medir será en diagonal aplicando el teorema de Pitágoras. (Se suponen trayectorias en línea recta.)

El arreglo indirecto es el menos satisfactorio ya que además de su relativa insensibilidad, nos dá medidas de la velocidad de pulso que usualmente tienen la influencia de la capa de concreto cercana a la superficie, que no serán representativas del concreto en estratos más profundos. Aún más, la longitud de trayectoria está menos definida y no resulta satisfactoria el tomarla como la distancia entre centro a centro de los transmisores.

Se debe asegurar de que los transductores tengan acoplamiento sobre la superficie de concreto; esto se logra colocando entre la superficie del concreto y los transductores grasa de silicón, grasas para bomba de agua, grasas para cojinetes o jabón líquido. En superficies muy rugosas, se

debe usar jalea de petróleo delgada, aunque se deberá tratar de que la superficie del concreto esté lo más lisa posible. Al colocarse los transductores sobre la superficie del concreto se debe:

- Procurar no moverlos, ya que se genera ruido y consecuentemente lecturas erróneas.
- Mantener firmes los transductores hasta que la lectura sea definida.

3.2.5 CRITERIOS PARA LA SELECCION DEL PUNTO DE ENSAYE.

Antes de aplicar la prueba, es necesario efectuar un reconocimiento visual de los puntos que se van a ensayar, con el fin de determinar la rugosidad de la superficie, la presencia de huecos y fisuras que afectarán nuestra prueba.

Es necesario quitar el acabado de la superficie (yeso, cemento, etc.) con el fin de evitar resultados erróneos por la posible separación entre el acabado y el elemento que se va a ensayar. Cuando la superficie es rugosa, es necesario pulirla con una piedra de carbón duro, con el fin de evitar que los transductores registren una señal defectuosa.

En la figura 9 se muestran las opciones para instalar los transductores en la superficie de prueba del espécimen. Las pruebas pueden ser directas, semidirectas e indirectas.

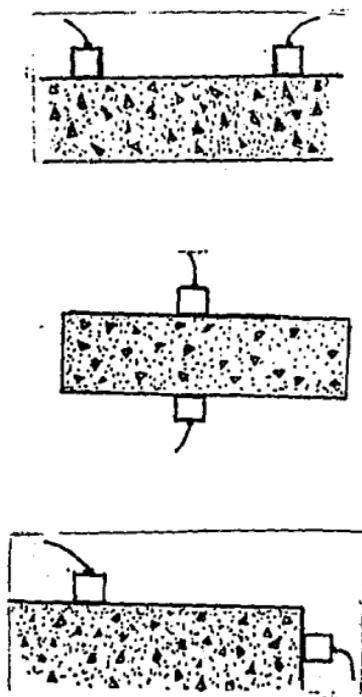


Fig 9 Alternativa de posición de transductores.

3.2.5.1 METODO PARA DETERMINAR LA DISTANCIA DE TRANSITO CON ARREGLO INDIRECTO.

En este método se coloca el transmisor en un punto elegido de la superficie y el receptor sobre puntos sucesivos a lo largo de una misma línea, la distancia centro a centro se obtiene directamente para cada punto con su tiempo de transmisión respectivo. El inverso de la pendiente de la línea recta dibujada entre dos puntos de la gráfica de distancia contra posición con el tiempo, nos da la velocidad promedio del pulso en la superficie (Véase figura 10).

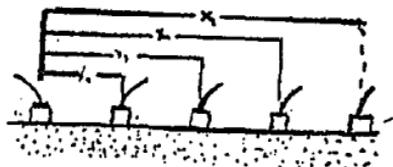
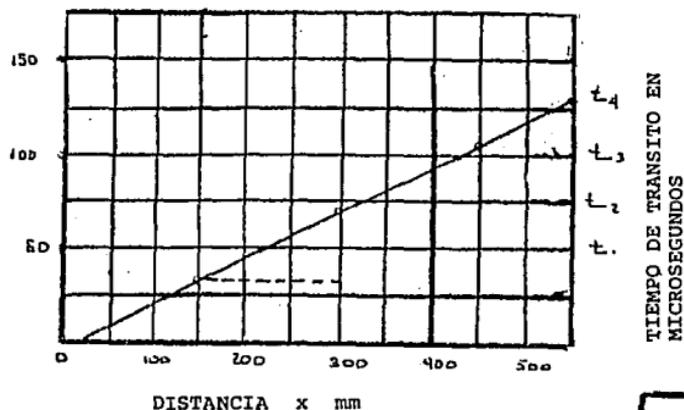


Fig. 10

También se ha visto que la velocidad del pulso determinada por el método indirecto es menor que la que se obtiene con el método directo. Cuando sea posible efectuar mediciones por varios métodos, se establecerá una relación entre ellos y podrá determinarse el factor de corrección .

Cuando no sea posible usar el método directo, un valor aproximado para obtener la velocidad mediante el método indirecto sera:

$$V_i = 1.05 V_d$$

Donde:

V_d = Velocidad de pulso obtenida usando el método directo.

V_i = Velocidad de pulso obtenida mediante método indirecto.

Hay que tomar en cuenta lo siguiente, si los datos de la gráfica de distancia en contraposición con el tiempo no están en línea recta (vease fig 11), es decir, que hay cambios de pendiente, significa que el concreto cercano a la superficie es de calidad variable o que existe una grieta en el concreto en la línea sobre la cual se realiza la prueba. Lo anterior se comprueba cuando la velocidad comienza a bajar; el espesor del estrato afectado se puede calcular como sigue:

$$t = (V_d / V_s) X_0$$

Donde:

t = espesor de la capa afectada del concreto.

X_0 = Distancia en la cual ocurre el cambio de pendiente.

V_d = Velocidad de pulso en concreto dañado.

V_s = Velocidad de pulso en concreto no dañado.

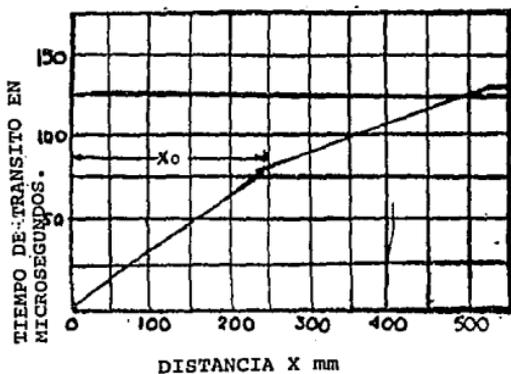


Fig. 11 Gráfica de distancia en contraposición con el tiempo.

Las condiciones de prueba influyen en la velocidad de pulso; por lo tanto, debemos tener en cuenta las siguientes observaciones:

a) La longitud de la trayectoria es insignificante cuando no es menor que 100 mm para un agregado de 20 mm, o no menor que 150 mm para un agregado de 40 mm.

b) La velocidad de pulso no se verá afectada al hacer mediciones en dos dimensiones diferentes del elemento, siempre y cuando no se varíe el ángulo recto entre ellos.

c) La influencia del esfuerzo generalmente es pequeña si las barras se encuentran perpendiculares a la trayectoria del pulso (cabe recordar que la velocidad de pulso será mayor en las barras que en el concreto); la influencia es significativa si las barras están en la dirección de pulso. Las ondas producidas viajarán por la superficie que represente una menor oposición a su recorrido.

En general, hay que evitar aplicar el pulso cerca de las barras de acero, ya que entonces se deberán corregir los resultados con factores de ajuste. Si al aplicar el pulso el tiempo de tránsito se incrementa en gran medida, lo mejor es buscar otra parte del elemento y hacer ahí las mediciones , ya que los factores de corrección sólo son aproximaciones.

d) La humedad en el concreto se puede reducir, sin embargo, puede ser significativa su influencia en el pulso ultrasónico. En general, la velocidad se incrementará a medida que aumenta el contenido de humedad, y con ello se puede obtener un concreto de buena calidad en lugar de un concreto pobre.

Al emplear el pulso ultrasónico, el aspecto más importante que se debe considerar es el número de elementos ensayados, ya que entre mayor sea la muestra se tendrán más elementos de comparación para poder obtener un juicio acerca de la calidad del concreto, la selección de los puntos debe hacerse en forma aleatoria.

Cuando hay una grieta en el concreto, el pulso ultrasónico nos permitirá determinar su profundidad e inclinación. Para obtener la profundidad, las mediciones se harán colocando los transductores uno a cada lado de la grieta a una distancia X , procurando que sean en la parte más gruesa de la misma. A continuación se repetirá la lectura a doble distancia de la anterior.

3. 2. 6.

ESTIMACION DE LOS DAÑOS PRODUCIDOS POR INCENDIO.

Desde los trabajos de D. Anselmo Garay en los años 1973 - 1974, el método menos discutido para la investigación de la importancia de los daños producidos por el fuego en estructuras de concreto armado consiste en la determinación del espesor de concreto afectado mediante métodos basados en la propagación del ultrasonido.

El método utilizado por Garay parte de la hipótesis de considerar el gradiente de velocidad de propagación en la misma, V_1 . Así mismo, el concreto es suficientemente homogéneo para permitir establecer una velocidad de propagación media para la onda en el núcleo sano, V_2 .

Con estos supuestos, si T es el tiempo de recorrido de la onda al travesar un espesor total L_0 , del cual se considera dañada una capa exterior de espesor L_1 , obtenemos:

$$T = \frac{L_0}{V_1} + \frac{(1 - \lambda) L_0}{V_2}$$

de donde

$$L_o = \frac{V_o \cdot \gamma}{V_o - \gamma} \left(T - \frac{L_o}{V_o} \right)$$

y la fracción de concreto sano resulta ser

$$1 - \frac{V_o \cdot \gamma}{V_o - \gamma} \left(\frac{1}{V_o} - \frac{T}{L_o} \right)$$

Si realizamos esta operación a lo largo de diversas trayectorias cruzadas en una sección de concreto, podremos obtener, en cada una de ellas, la fracción de concreto sano y, por un proceso de integración gráfica o numérica, obtener la fracción de la superficie total que ha quedado afectada, que se consideraba como sección útil.

Actualmente, podemos observar que el gradiente de temperatura en el interior de la masa de 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. (ver fig 1)

Ahora bien, los daños producidos por el fuego en el concreto distan de ser lineales con la temperatura alcanzada. Las figuras 3, 4, 5, 6 y 7 tomadas de los trabajos de Malhotra, Logothetis y Economou, Morey 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, y en la figura 8 el efecto producido en losas trabajando a flexión. Por lo 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 tras esa exposición, sería todavía del orden de un 70% de la inicial.

La influencia en la velocidad de propagación de la temperatura, se representa en la figura 9, y muestran un comportamiento significativamente similar al indicado para la adherencia. Se confirma, pues, que los ultrasonidos pueden ser un instrumento muy valioso para la determinación de las lesiones producidas en el concreto, por encima, incluso, de la determinación de la resistencia a compresión de probetas talladas de los elementos presuntamente dañados.

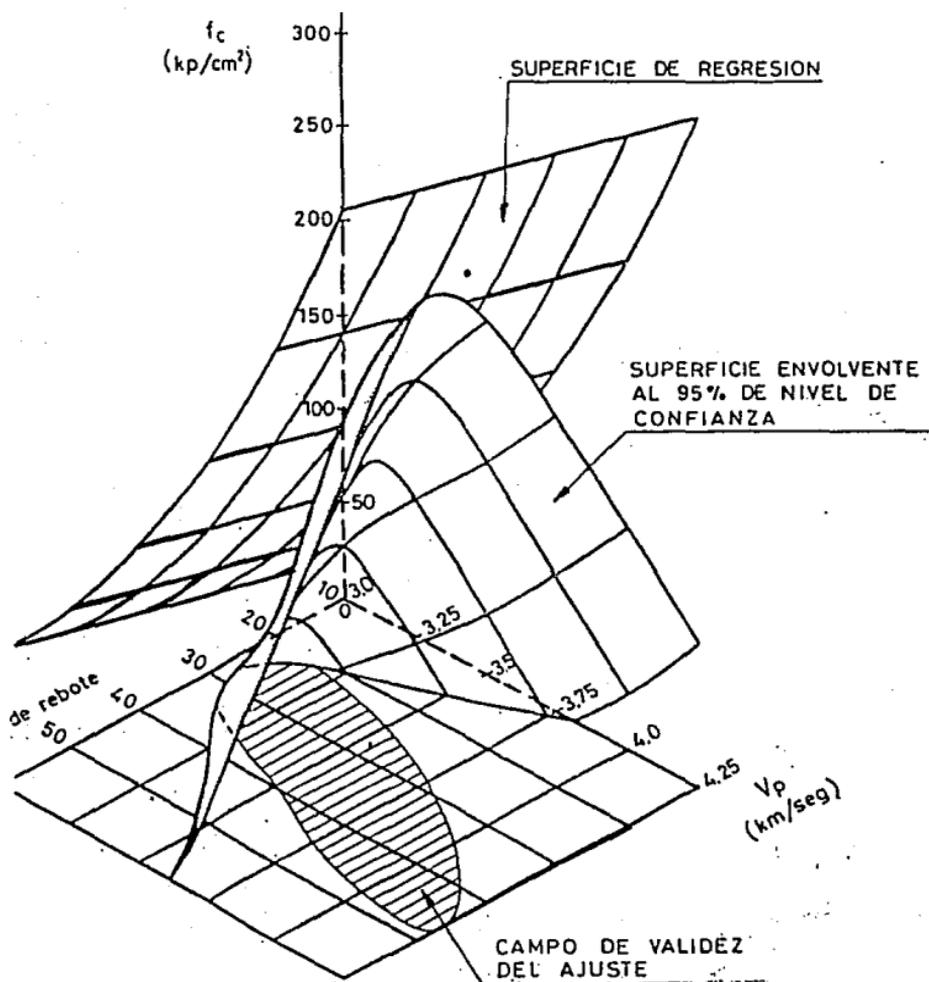


Fig. 1

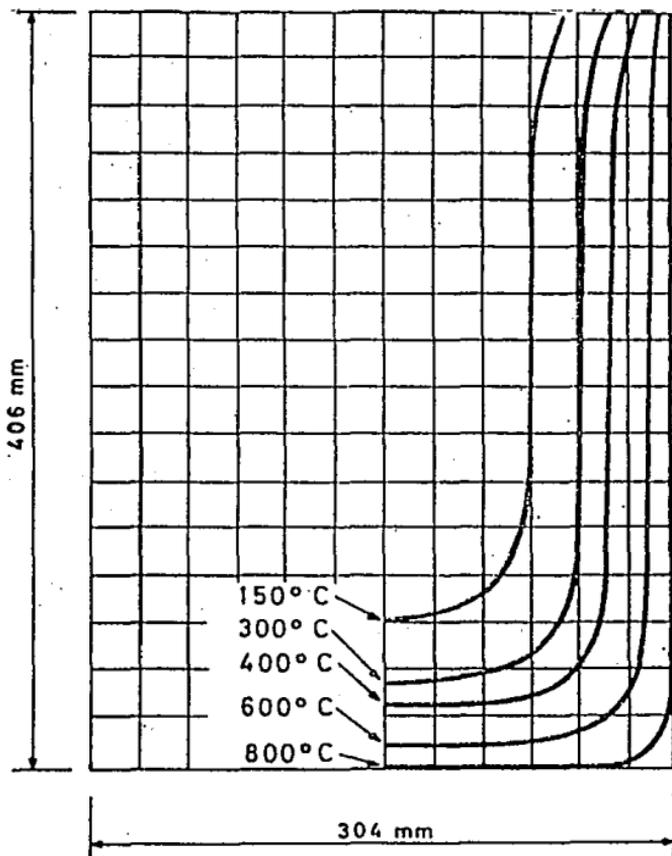


Fig. 2 Distribucion de temperatura tras 1 hora de exposi3n al fuego

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

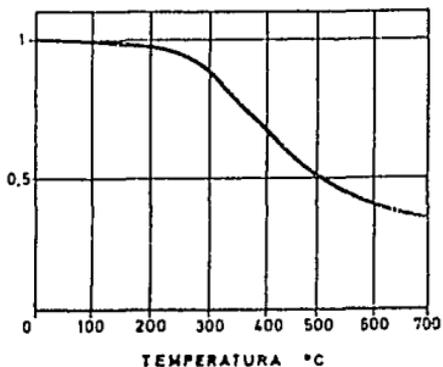


Fig. 3 Efectos de la temperatura en la resistencia a compresión

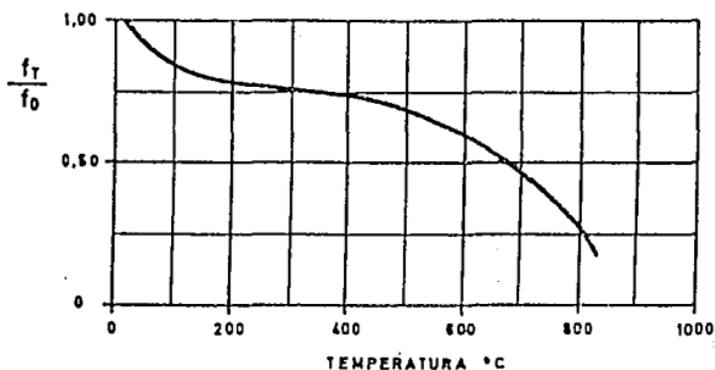


Fig.4 Resistencia a compresion residual tras calentar a varias temperaturas.

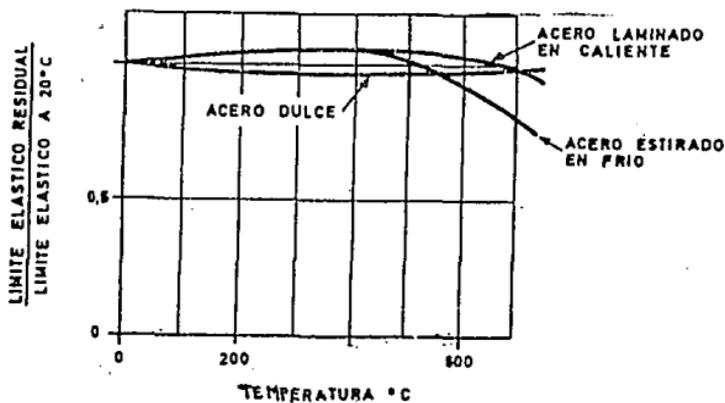


Fig. 5 Resistencia del acero a altas temperaturas.

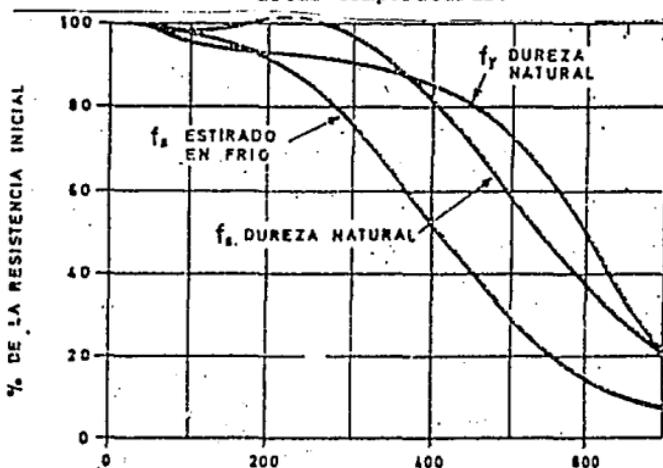


Fig. 6 Efectos de la temperatura en el limite elastico residual.

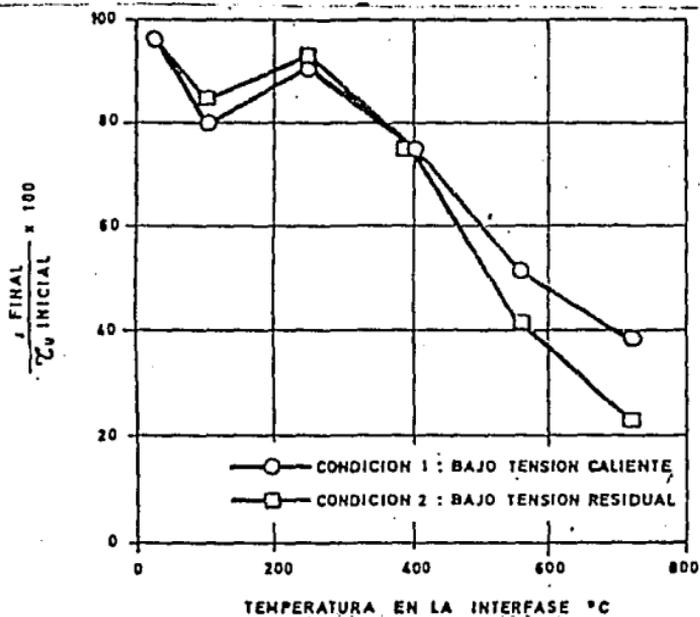


Fig. 7 Relación entre la tensión de rotura de adherencia y la temperatura

3. 2. 7. INTERPRETACION DE DATOS.

El resultado que se obtiene de los datos recopilados es la velocidad de pulso en el elemento que se probó, la cual se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$\text{Velocidad de pulso} = \frac{\text{Distancia entre transductores (cm)} * 10 \text{ (km/seg)}}{\text{Lectura de tiempo (microseg)}}$$

La velocidad se determina para las tres lecturas realizadas a cada elemento y, posteriormente, se obtiene un promedio; esta velocidad de pulso es la más conveniente. Con este dato podremos determinar la calidad del elemento probado, consultando algunos de los criterios de clasificación de calidad que se muestran en la tabla 2 de la pag 65.

Para determinar la profundidad de una grieta, se cuenta con dos tiempos t_1 y t_2 por distancias X y $2X$, respectivamente; dicha profundidad se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$C = X * (4 t_1^2 - t_2^2 / t_1^2 + t_2^2)$$

Donde :

C = profundidad de la grieta.

X = distancia inicial

t_1 = tiempo de la distancia inicial (X)

t_2 = tiempo al doble de la distancia ($2X$)

Para obtener el módulo de elasticidad dinámico a partir de la velocidad de pulso, se cuenta con las siguientes expresiones:

1.- Para especímenes de laboratorio

$$Ed = 1.02. V W * 10$$

2.- Para losas:

$$Ed = 0.961 V * 10$$

3.- Para concretos masivos:

$$Ed = 0.866 V W * 10$$

Donde:

Ed = módulo dinámico de elasticidad del concreto

V = velocidad de pulso.

W = peso volumétrico del concreto.

No es fácil estimar la relación que existe entre el pulso ultrasónico y la resistencia del concreto, pues el tipo de agregado, la relación agregado-cemento, la edad del agregado y las condiciones de curado influyen en ella.

El pulso ultrasónico puede emplearse para llevar el control del concreto en una construcción, esto se logra mediante el uso de cilindros de prueba, en ellos se hace mediciones de la velocidad de pulso y resistencia a compresión. Con estos datos se hace una gráfica de resistencia en contraposición con la velocidad de pulso, que servirá como referencia y así poder hacer ensayos al concreto ya colocado en los elementos estructurales, para lo cual basta con medir la velocidad de pulso en cada elemento y compararla con la gráfica obtenida de antemano con los cilindros de prueba.

TABLA 2

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

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

Evaluación de la calidad mediante la velocidad de pulso según Agarwal y otros.

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

Velocidad mínima de pulso en unas cuantas estructuras típicas.

Tipo de obra	Velocidad mínima de pulso para su aceptación (m/seg.)
Secciones T de concreto presforzado	4570
Unidades de anclaje de concreto presforzado	4360
Marcos de edificios de concreto presforzado	4110
Losa de entrepiso	4720

3.3 ESCLEROMETRO

3.3.1 INTRODUCCION

A lo largo de los años se han implementado diversos métodos para conocer la calidad del concreto, sin dañar su estructura interna y es, por lo anterior, que surgió la necesidad de desarrollar un método que permitiera evaluar la resistencia del *concreto* a la compresión.

La laboriosidad de los procedimientos para obtener la resistencia del concreto (extracción de núcleos de concreto y el procedimiento completo de elaborar, curar y probar muestras estándar), han llevado a desarrollar distintos métodos para probar el concreto en la obra, de tal suerte que la parte probada no reciba ningún daño como se mencionó anteriormente.

Antiguamente, los trabajadores de la construcción golpeaban con un martillo la superficie de concreto, de la cual querían conocer su estado y dureza, por lo tanto, según la intensidad del sonido así como la experiencia del operador se determinaba si el concreto probado era el adecuado para el fin que se había destinado.

En 1948 el ingeniero suizo Ernest Schmidt desarrolló una prueba para medir la dureza del concreto aplicando el principio del rebote de una masa elástica, que es el perfeccionamiento de este antiguo sistema.

El sistema parte de la relación entre la dureza y la resistencia del concreto, donde se puede definir a la dureza como " algo " difícil de romper, y a la resistencia como aquello que se opone a la reacción de una fuerza, aplicándose este mismo principio en el martillo de rebote.

3.3.2. DESCRIPCION DEL ENSAYE.

Como primer paso para realizar alguna prueba es necesario revisar la calibración del equipo, ya que de no ser así, se obtendrá un resultado erróneo de la prueba, de este punto se hablará más adelante.

La superficie a probar deberá reunir los siguientes requisitos:

- a) Estar libre de cualquier recubrimiento como lo son el yeso, cal, arena, etc.

- b) Será necesario también tomar en consideración que la superficie tendrá que estar libre de rugosidades. En el primero de los casos a mayor recubrimiento menor será el número de rebote, ya que el recubrimiento absorberá toda la energía liberada. En el segundo caso la excesiva rugosidad impedirá un contacto adecuado entre martillo y la superficie a probar.
- c) La superficie a probar de concreto cuando no forme parte de una masa firme (cilindros de concreto, vigas de laboratorio, etc.), se tendrá cuidado de asegurarla para evitar que ceda al impacto y se produzca un rebote menor al debido.

En una superficie con espesor menor de 10 cm se deberá de tomar en cuenta que esta última se deformará elásticamente ante el impacto recibido y, lógicamente, no se obtendrá el mismo valor de rebote en un espécimen formado del mismo concreto pero de diferentes formas.

Tomando en cuenta los puntos anteriores se procede a realizar la prueba. Esta prueba, como se mencionó anteriormente, se basa en el principio de el rebote elástico de una masa y depende de la dureza de la superficie contra la cual la masa incide.

El esclerómetro o martillo de rebote se colocará de preferencia en forma perpendicular a la superficie de prueba, acto seguido se ejercerá una ligera presión sobre el esclerómetro con el fin de liberar el émbolo del seguro que lo protege; una vez realizado lo anterior se presiona nuevamente el émbolo contra la superficie de prueba, y es precisamente en este momento cuando es liberada una masa cargada con una cierta energía, que es proporcionada por medio de un resorte.

La distancia recorrida por la masa se expresa como un porcentaje de la extensión del resorte, a lo que se conoce como número de rebote, este número queda señalado por un indicador móvil sobre una escala graduada, que se encuentra sobre la superficie del esclerómetro; y de esta forma, con el número así obtenido, se obtendrá una relación aproximada con la resistencia de la superficie de prueba.

3.3.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL EQUIPO

La utilización del martillo de Schmidt es sumamente sencilla y si a esto se le suma el poco peso del mismo de aproximadamente 1.8 kg se justifica el uso práctico que ha tenido este método de prueba como forma de comparación entre concretos similares; esto último debido a que un elemento de

concreto en obra no recibe los mismos cuidados que en un laboratorio ya sea por su tamaño o por otros factores, esto influye en el sentido de que la dureza superficial que se tiene es distinta a la dureza interna, que es la más representativa de la prueba.

El probar un mismo espécimen con dos esclerómetros diferentes arrojará resultados similares, pero nunca idénticos debido a factores como los materiales de fabricación del aparato, la antigüedad del mismo, así como de la persona que lo opere.

La aplicación de este método nos daría resultados poco precisos y no serían los adecuados, por lo que sería mejor utilizar la prueba a la compresión simple del concreto. Para el fin de este trabajo se propone la extracción de corazones de concreto, la cual se describirá a continuación.

3.3.4 RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE DEL CONCRETO.

Este método sirve para determinar la resistencia de cilindros y corazones de concreto según la Norma Oficial Mexicana, para fines de este trabajo se usará el método de extracción de corazones el cual se describe a continuación.

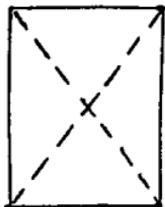
Diremos antes que los corazones son núcleos de concreto, que se extraen haciendo una perforación en la masa de concreto con un taladro de broca cilíndrica de pared delgada con corona de diamante, carburo de silicio o algún material similar, el cual debe tener un sistema de enfriamiento para que la broca impida la alteración del concreto y el calentamiento de la misma.

La muestra obtenida debe tener un mínimo de 14 días de edad para poder hacer la prueba, este cilindro se debe obtener de zonas de concreto no dañadas, el espécimen que se toma, ya sea de superficies horizontales, verticales o inclinadas, debe extraerse perpendicularmente a la superficie y cerca del centro, alejado de las aristas y juntas de colado. En el caso de la losa, el corazón debe ser lo suficientemente grande para asegurar que los especímenes no tengan fallas en el concreto, tales como fisuras, grietas, fallas internas o cualquier otro tipo de defecto. Los corazones deben tener una relación altura/diámetro de 2, pudiendo aceptar, como mínimo, una relación

de 1. asimismo no deben tener acero de refuerzo, ya que registran valores más altos, por haber estado sometido al fuego se debe tener saturado, para que tenga una humedad adecuada en el momento de la prueba.

El corazón de concreto se ponen en una prensa hidráulica, previamente preparado según la Norma Oficial Mexicana, enseguida se le va aplicando determinadas cargas hasta que falla el cilindro de concreto, la resistencia a la compresión se saca usando el área de la sección transversal, calculada en función del promedio del diámetro del espécimen.

- DIAGRAMA DE FALLAS DE CILINDROS SOMETIDOS A COMPRESION.



- 1.- Se observa cuando se logra una carga de compresión bien aplicada sobre un espécimen de prueba bien preparado.



- 2.- Se observa comúnmente cuando las caras de aplicación de carga se encuentran en el límite de tolerancia especificada.

3.4 PETRIGRAFIA DE PLACA DELGADA.

3.4.1 INTRODUCCION

Los cambios que presenta el concreto que se ha expuesto durante mucho tiempo al medio ambiente o ha estado en condiciones adversas, consisten en cambios en su composición o reacción en sus componentes. Esta prueba pretende determinar detalladamente la condición del concreto, las causas de la baja calidad, la escasez o deterioro del concreto, el futuro probable del comportamiento del concreto, la descripción de la matriz cementada, incluyendo la determinación cualitativa del tipo de aglutinante hidráulico utilizado, el grado de hidratación y el grado de carbonización si los hay, la evidencia de la poca solidez de cemento, la presencia de una mezcla mineral adicional, la naturaleza de los productos hidratantes; con toda la información obtenida se podrá conocer el comportamiento del concreto.

3.4.2 DESCRIPCION DEL ENSAYE

Para poder analizar el concreto se debe hacer una inspeccion visual del mismo, donde se describirá el tipo de agregado, el material incrustado, la cantidad de aire que contiene y el tipo de matriz.

Del tipo de agregado grueso se describirá su composición, es decir, se dará la dimensión máxima del agregado, el tipo de grava, si es piedra molida o mezclada, el tipo de litológico, mineralogía, categoría (liso o no liso, exceso de deficiencias de tamaño), paralelismo de los lados planos o recortes largos de secciones expuestas; en lo que respecta al agregado fino, se deberá indicar si la arena es natural, manufacturada o mezclada, si es homogénea o heterogénea, textura superficial; para el material incrustado se dirá tipo, tamaño, localización, tipo de metal, otros materiales; la cantidad de aire, se describirá la cantidad de espacios vacíos, recubiertos o parcialmente llenos, forma, distribución, categoría (como se perciba); en lo que respecta a la matriz se verá el color, fractura alrededor o a través del material agregado.

Dentro del laboratorio se podrá hacer la investigación sobre la resistencia de los agregados fino y gruesos, determinar la composición del material, establecer si existe una o más reacciones entre los elementos ya sea sílice, alcalinos, carbonatos, qué componentes del material fueron afectados, qué evidencia existe de la reacción y cuáles fueron afectados, así como los efectos de prueba de solidificación y fundición o de otra exposición física, la duración de la reacción, la naturaleza de los productos de reacción y los efectos de la reacción producidos por la exposición a un medio ambiente químicamente agresivo.

3.4.3 EQUIPO PARA ANALISIS.

El equipo utilizado para realizar las pruebas petrográficas dependen de los procedimientos requeridos, la siguiente lista incluye el equipo generalmente utilizado.

Equipo para el campo de muestreo:

- Sierra de diamante
- Lubricante de corte
- Ruedas de debastadora horizontal
- Máquina liberadora de abrasivo
- Rueda pulidora
- Plancha térmica

La muestra que se obtiene debe tener la talla mínima al equivalente a un núcleo de por lo menos 6 pulg (152mm) de diámetro y a 1 ft (305mm) de largo, las muestras más útiles para el examen petrográfico son los núcleos taladrados con diamante con un diámetro por lo menos 2 o 3 veces mayor que la talla máxima del material de agregado grueso, es decir si el agregado de 6 pulg. (152mm) es deseable un núcleo de por lo menos 10 pulg. (250 mm) de diámetro.

Para examinar las muestras de concreto se deben usar diferentes microscopios, estos son: Esteremicroscopio, Microscopio Petrográfico y Microscopio Metalográfico; con esto se podrá obtener las características de los materiales, entre otras: forma, categoría, distribución, textura, composición, tipos de roca, alteraciones, grado, productos, recubrimiento y contaminantes.

3.4.4 EFECTOS DEL FUEGO SOBRE EL CONCRETO

Con las pruebas de petrografía se hace la descripción del concreto dañado por el fuego:

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Superficie endurecida:

La deshidratación a 100 °C elimina el agua libre; la deshidratación es esencialmente completa a 540 °C; el hidróxido de calcio se convierte a óxido de calcio entre 450 y 500 °C. La pasta se expande por efectos de coeficientes térmico y luego se contrae, se fractura, se decrepita y se vuelve suave.

Fractura:

Se producen perpendiculares a la cara e internas, donde el calentamiento o enfriamiento causaron esfuerzos de tensión excesivo. En algunos concretos nuevos, se asemejará a una fractura por contracción en gran escala; pudiendo penetrar hasta 100 mm y pudiendo también cicatrizarse autogenamente.

Cambio de color:

Cuando el concreto no ha sido descamado, se observa una coloración rosada, el concreto elaborado con agregados metamórficos o sedimentarios, mostrará un cambio de color permanente al calentarse, su color normal hasta 230 °C; cambio rosado a rojo entre 290 y 590 °C; de 590 a 900 °C el color cambia a gris. Para temperaturas cercanas a 500 °C su distribución es poco afectada por el uso de agregados carbonatados en lugar de sílicos. A 573 °C el cuarzo se invierte de bajo a alto con un aumento de 0.85% en volumen produciendo estallidos, los productos de hidratación descompuestos en polvo blanco aparecen a 950 °C, superficies irregulares cerca de los 290 °C y fracturas profundas

alrededor de los 540 °C

Agregados:

La conducta de estos materiales afecta la resistencia, modularidad, fractura, dureza superficial y daños térmicos residuales; Los agregados difieren en difusividad térmica, conductividad eléctrica y coeficiente de expansión, la transmisión del calor disminuye en concretos elaborados con agregados altamente silicosos, piedras areniscas, piedras calcareas y otros agregados de poco peso.

Descascaramiento:

Ocurre subparalelamente a cara libre; seguido por fracturas en piezas parecidas a platillos, especialmente en las esquinas y filos.

La información obtenida debe incluir: los materiales utilizados, las porciones del mezclado, fraguado y antigüedad del concreto cuando sea puesto en servicio o a prueba, la orientación en la exposición, edad actual, la características de exposición natural o del laboratorio y el método manufactura de los productos del concreto.

IV.- EJEMPLO DE EVALUACION EN UN EDIFICIO REAL.

4.1 DESCRIPCION DE LA ESTRUCTURA A ANALIZAR

El edificio afectado por fuego se identifica con el nombre de COATEA (omitimos el nombre real debido a que esta información puede afectar los estudios realizados) el cual tenía uso de oficinas en todos sus niveles, el área aproximada por planta es de 554 m², compuesto por 1 sótano, 10 niveles y penthouse, siendo su altura aproximada de 33 m sobre el nivel de calle.

La estructura del inmueble es de concreto reforzado resuelta a basa de marcos rígidos y losa maciza, los elementos se encontraban recubiertos (acabados) con materiales como mortero de cemento, yeso, mármoles, azulejos, maderas, tapiz, losetas vinílicas y alfombras.

La fachada del inmueble en sus 3 caras principales se componía de soportería de aluminio y vidrios color café. De acuerdo al tipo de uso del edificio (oficinas) los materiales predominantes en el momento del siniestro fueron: madera, alfombra, telas, plásticos, papel y cristal.

El fuego se inicio en el nivel 4 y 5 , se propagó a los pisos superiores consumiéndose en forma total los bienes de los pisos afectados, excepto el penthouse (azotea) que sólo fue afectado por el humo que se desprendió durante el evento.

Durante el siniestro el medio ambiente lo dominó el viento húmedo, propio del mes de julio, la temperatura media de 16 °C. Se calculó un tiempo de 5 hr. de duración del incendio, de acuerdo a la información proporcionada por el reporte del cuerpo de bomberos.

Durante la inspección ocular al edificio se observaron situaciones en los elementos, las cuales permitieron definir la metodología a seguir para la evaluación del estado del concreto y acero. El programa de ensayos no destructivos se baso en:

- Auscultación de la dureza superficial del concreto. (esclerómetro).
- Evaluación de la resistencia a la compresión por medio de núcleos de concreto (ultrasonido)
- Evaluación de la alcalinidad del concreto p.H.
- Exámen petrográfico del concreto.
- Exámen del concreto con microscopio 30x
- Inspección directa del acero de refuerzo.

4.2 ANALISIS DE RESULTADOS

De la inspección ocular y los resultados arrojados por los ensayos no destructivos practicados, se puede juzgar que:

- Los daños en el inmueble se presentan a partir del 5º nivel, en el sótano, P.B., 1º, 2º y 3er. nivel, no tienen daños por fuego.
- La fachada del edificio resuelta con soportería de aluminio y cristal se perdió en un 80% como consecuencia del fuego y los trabajos de rescate y seguridad.
- El falso plafón de los niveles afectados (material desplegado con yeso) no sufrió colapso, presenta signos de calcinación en toda la superficie.
- La superficie de las columnas las cuales se encontraban recubiertas con diferente tipo de material (mortero, yeso, tapiz, madera, etc.) de diferentes espesores (1 cm a 4 cm) presentan un leve cambio de coloración en el concreto (rojo o amarillo), efecto generalizado en los elementos afectados.

- La mayor parte de la superficie de las columnas presentan un patrón de fisuras del tipo piel de cocodrilo, estas fisuras son superficiales (penetración 0.5 cm) y de espesor que varía de 0.3 a 0.8 mm

- Las trabes y losas se encuentran pigmentadas por el humo desprendido durante el siniestro, el falso plafón sirvió de pantalla impidiendo el paso directo del fuego.

- En los ensayos de alcalinidad del concreto se observó que éste sufrió un cambio de p.H. a una profundidad de 4 cm. (p.H. 10) como máximo. El valor para un concreto sin degradación es de 12, mismo que se encontró en el resto del concreto de las secciones estudiadas, así como en el concreto de las columnas de pisos no afectados.

- La resistencia a compresión del concreto es de 246 kg/cm² en promedio, no se detectó ningún valor menor de 170 kg/cm².

- Los ensayos con ultrasonido que se efectuaron en capas interiores a 0.5 cm de la superficie y no directamente en el concreto afectado, nos muestra que la resistencia del concreto es uniforme en los elementos y no hay una caída brusca de la resistencia. Los valores concuerdan con lo obtenido con el ensayo de núcleos de concreto a compresión.

- Los ensayos del ultrasonido nos ponen de manifiesto que la masa interna del concreto (núcleos de los elementos estructurales) no se encuentra afectada y no existen grandes porosidades o microfisuras.

- Los estudios petrográficos definen que el daño por fuego es superior a 4 cm encontrándose el concreto interno en buen estado (núcleo de la columna) concordando con la información de los análisis del pH.

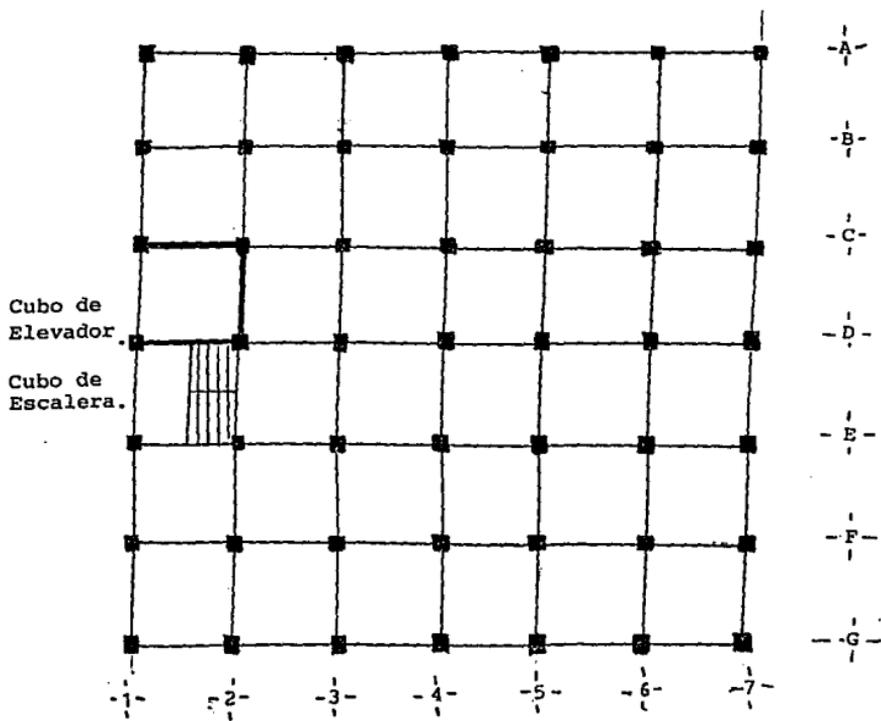
- En ningún elemento se presentó desprendimiento del concreto o expansión del mismo.

- El acero de refuerzo en ningún elemento quedó expuesto al fuego.

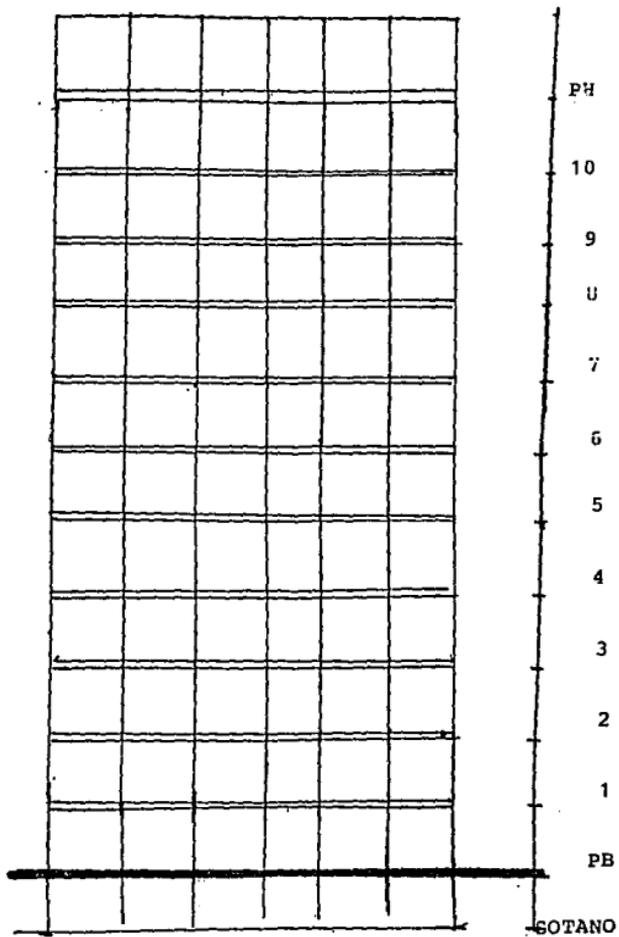
- Los muros cuya función es estructural, quedaron sin recubrimiento y en ciertos pisos se encuentran destruidos, daños que se pudieron presentar en el momento del rescate de bienes y materiales.

- Los resultados de la inspección visual así como los de los ensayos de laboratorio nos indican que los daños ocasionados a los elementos estructurales por el siniestro se pueden clasificar como menores.

4.3 RESULTADOS OBTENIDOS.



PLANTA ESTRUCTURAL.
EDIFICIO COATZA.



FACHADA

DETERMINACION DEL INDICE DE REBOTE

LECTURAS ESCLEROMETRICAS

ISTITO No.	TELEN.	UBIC.	ILOCC.	TIPO	LECTURAS.												PROMEDIO	
					SUP.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		12
1	ICOL	13/1-A	9	L		35	36	36	40	40	40	38	38	38	38		38.2	
2	ICOL	10-1/6	9	L		40	40	42	40	42	38	42	40	38	42		40.4	
3	ICOL	18-1/4	9	L		36	38	38	36	40	44	46	44	40	44	44	41.0	
4	ICOL	1A-1/4	9	L		44	40	40	38	40	38	40	40	40	38		40.0	
5	ICOL	10-1/1	9	L		48	46	44	46	48	44	44	46	46	46		46.0	
6	ICOL	18-1/6	7	L		42	42	44	44	42	46	48	44	42	46		44.0	
7	ICOL	18-1/4	7	L		36	36	34	38	36	36	32	36	38	36		36.0	
8	ICOL	10-1/4	7	L		30	36	34	36	34	32	36	36	34	32	32	34.0	
9	ICOL	10-1/3	7	L		36	36	38	38	38	38	40	40	40	40		38.0	
10	ICOL	1A-1/2	7	L		40	36	40	38	40	40	38	40	42	40	36	40	39.0

DETERMINACION DEL INDICE DE REBOTE

LECTURAS ESCLEROMETRICAS

SITIO No.	ELEN. UBIC.	LOC. SUP.	TIPO L	LECTURAS.												PROMEDIO
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
11	COL	1A-X/5	5	L	44	44	42	42	42	42	44	42	38	38	38	41.5
12	COL	1C-X/5	5	L	36	36	36	38	38	38	38	36	36	38	36	37.0
13	COL	1B-X/4	5	L	30	30	28	36	34	34	32	36	36	36	36	34.0
14	COL	1B-X/2	5	L	36	34	36	36	32	34	32	32	34	34	32	34.0
15	COL	1A-X/2	5	L	30	36	38	34	28	32	32	34	30	28	36	32.0
16	TRABE	12/C-B	6	L	42	44	48	42	40	42	40	44	44	42	44	42.0
17	TRABE	14/C-B	6	L	44	44	44	40	42	42	42	44	42	44	44	43.0
18	TRABE	15/D-C	6	L	44	44	40	42	40	48	40	46	44	46	48	44.0
19	TRABE	12/C-B	5	L	44	40	42	40	38	40	40	42	44	42	44	41.0
20	TRABE	1C/3-4	5	L	38	44	42	42	42	44	42	42	42	38	42	41.0

DETERMINACION DEL INDICE DE REBOTE

LECTURAS ESCLEROMETRICAS

SITIO No.	TELEN.	UBIC.	HLOC.	TIPO	SUP.	LECTURAS.												PROMEDIO
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
21	TRABE	4/B-C	5	L		44	46	46	50	48	50	46	48	48	50	44	46	47.0
22	TRABE	B/3-4	7	L		48	50	52	48	46	44	48	46	46	48	46	44	47.0
23	TRABE	5/B-C	7	L		42	46	48	42	44	44	46	44	44	46	44	44	44.5
24	TRABE	B/5-6	7	L		46	46	44	42	46	46	50	44	44	44	46	46	45.0
25	TRABE	2/B-C	5	L		34	48	34	38	42	40	36	38	38	42	36	44	38.0
26	TRABE	C/5-4	8	L		36	34	34	36	36	36	34	34	32	32	30	34	36.0
27	TRABE	2/B-C	9	L		40	38	34	34	32	34	36	32	32	36	36	38	35.0
28	TRABE	3/A-B	9	L		34	34	36	40	38	36	34	36	36	40	36	38	35.0
29	TRABE	4/C-D	10	L		34	38	34	32	36	32	36	34	34	36	34	36	35.0
30	TRABE	3/C-D	10	L		36	34	36	34	32	36	34	40	34	36	34	36	35.0

DETERMINACION DE LA VELOCIDAD DE PULSO

METODO DEL ULTRASUNIDO

LECTURA/ELEMENTO	LOC.	TIPO DE MEDICION	DIST. TRANSD. (m)	TIEMPO 110 - 4 seg	VELOCIDAD: m/s	
1	COL	3/X-A	DIRECTA	0.375	90.2	4157.0
2	COL	B-1/6	SEMI-DIRECTA	10.125 - 0.182	72.8	---
3	COL	B-1/4	DIRECTA	0.353	112.4	3152.0
4	COL	A-1/4	DIRECTA	0.342	112.8	3032.0
5	COL	B-1/1	DIRECTA	0.445	148.5	2996.0
6	COL	B-1/6	DIRECTA	0.401	130.7	3068.0
7	COL	B-1/4	DIRECTA	0.403	150.4	2679.0
8	COL	D-1/4	DIRECTA	0.408	162.5	2510.8
9	COL	C-1/3	DIRECTA	0.402	149.7	2685.0
10	COL	A-1/2	DIRECTA	0.411	150.7	2727.2
11	TRABE	A-1/5	DIRECTA	0.397	131.4	3021.3
12	TRABE	C-1/5	DIRECTA	0.398	170.6	2333.0
13	TRABE	B-1/4	DIRECTA	0.401	154.2	2600.0
14	TRABE	C-1/2	DIRECTA	0.404	161.6	2500.0
15	TRABE	A-1/2	DIRECTA	0.403	149.7	2693.0
16	TRABE	2/C-B	DIRECTA	0.301	94.6	3181.8
17	TRABE	4/C-B	DIRECTA	0.29	91.7	3162.0
18	TRABE	5/D-C	DIRECTA	0.306	96.3	3178.0
19	TRABE	2/C-B	DIRECTA	0.299	103.8	2881.0
20	TRABE	C/3-4	DIRECTA	0.304	99.6	3052.0
21	TRABE	4/B-C	DIRECTA	0.306	98.4	3109.0
22	TRABE	4/3-4	DIRECTA	0.314	99.4	3159.0
23	TRABE	5/B-C	DIRECTA	0.296	90.1	3285.0
24	TRABE	4/5-6	DIRECTA	0.306	89.6	3415.0

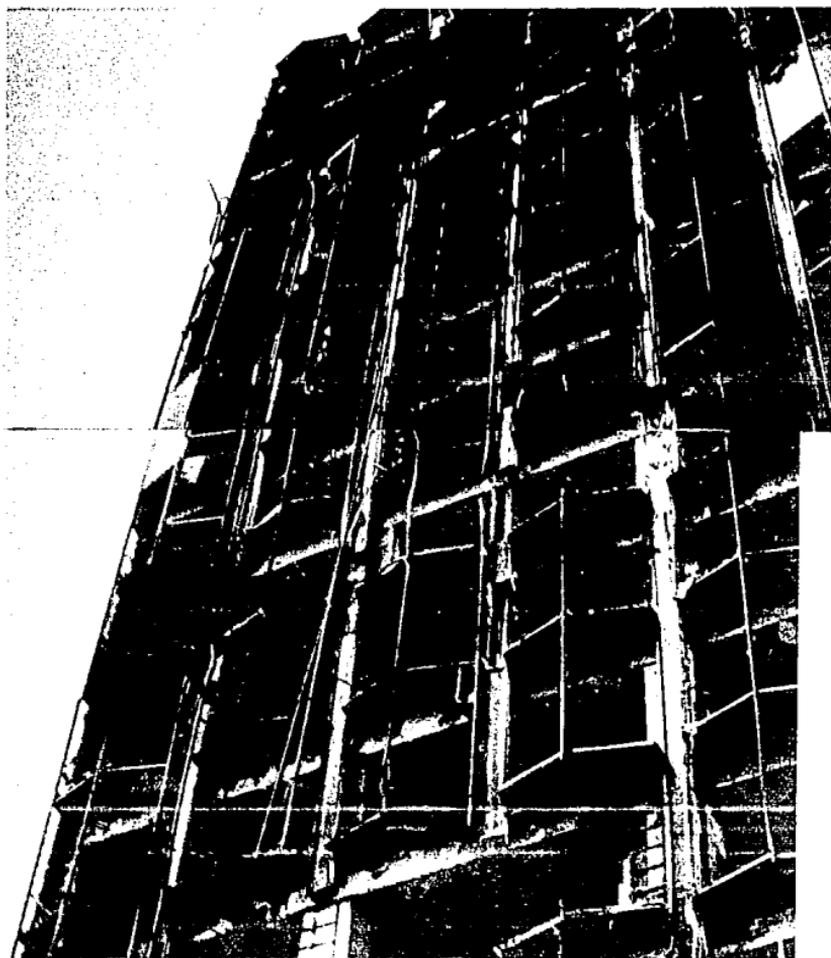
DETERMINACION DE LA VELOCIDAD DE PULSO

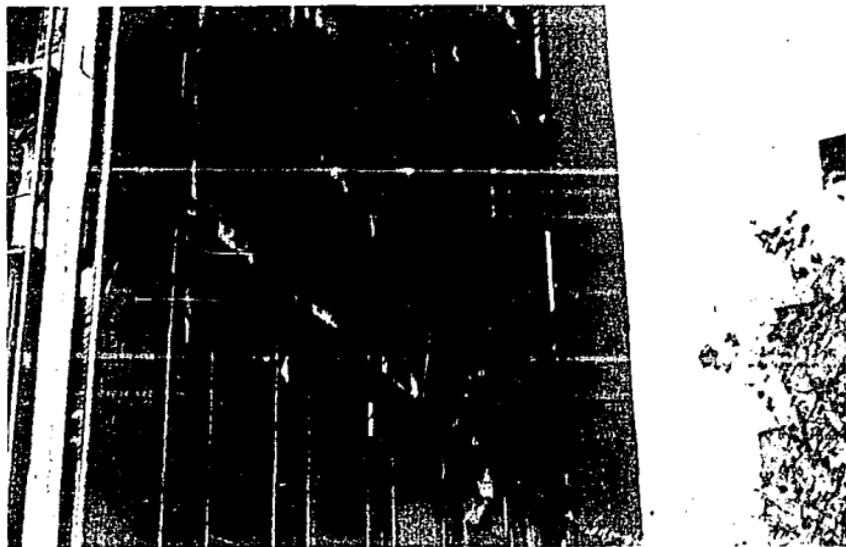
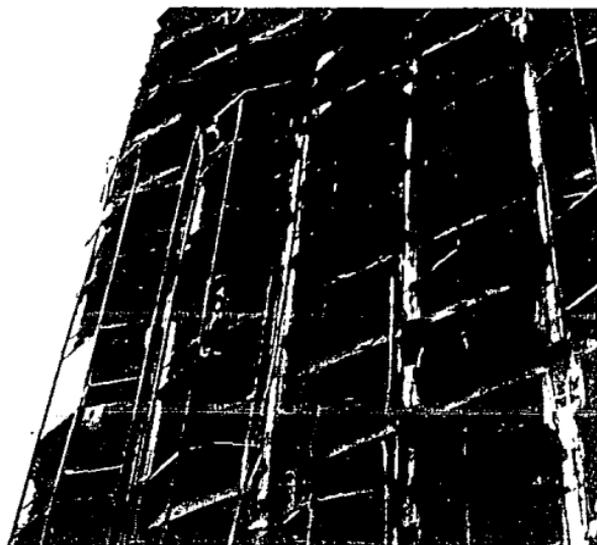
METODO DEL ULTRASONIDO

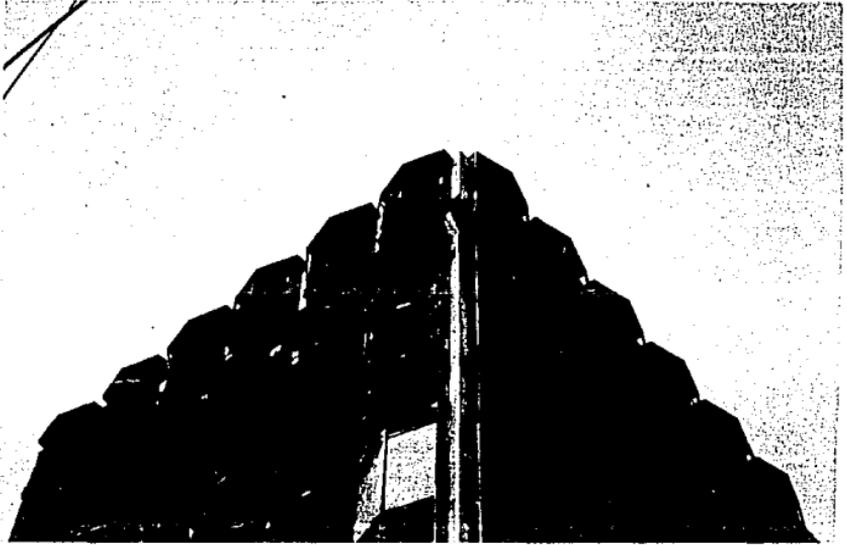
LECTURA/ELEMENTO	LOC.	TIPO DE MEDICION	DIST. TRANSD. (m)	TIEMPO 110 - 6 seg	VELOCIDAD m/s	
25	TRABE	2/B-C	DIRECTA	0.294	108.4	2712.0
26	TRABE	C/5-4	DIRECTA	0.297	112.4	2642.0
27	TRABE	2/B-C	DIRECTA	0.299	104.3	2867.0
28	TRABE	3/A-B	DIRECTA	0.303	127.7	2373.0
29	TRABE	4/C-D	DIRECTA	0.305	112.2	2710.0
30	TRABE	3/C-D	DIRECTA	0.294	105.6	2784.0

4.4 MEMORIA FOTOGRAFICA.









V.- CONCLUSIONES:

El desarrollo de este trabajo es para dar a conocer los diferentes métodos para poder analizar una estructura que ha sido dañada por el fuego, estos métodos van desde una inspección visual, la cual para realizarla se debe tener una gran experiencia, así como conocimientos del comportamiento del concreto ante el fuego y así poder determinar si es posible su reparación o no.

Para determinar si la estructura se puede reparar tenemos que decir que el concreto tiene la propiedad de resistir la transmisión de calor y conservar la resistencia estructural, si a esto se le agrega en dividir las dimensiones horizontales de la estructura mediante juntas de expansión que tiene la función de absorber la expansión térmica, así como también dividir el edificio en secciones verticales y horizontales para que el fuego se aisle, como son las losas de entrepiso y muros.

Así mismo el descascaramiento, estallido o fractura del agregado es resultado de cambios físicos o químicos bajo temperaturas elevadas y se limita a la superficie.

Además de quitar el color rosado de concreto de la estructura dejando el resto, el cual tiene una resistencia no menor del 80 % , y las temperaturas no superiores a 300 °C son insignificativas en términos estructurales y el acero que no muestra señales visibles de deformación severa, que probablemente no haya sufrido una reducción permanente en su resistencia residual a la fluencia, podemos decir que la estructura que está dentro este rango de normas se podrá restructurar.

Para poder determinar el estado del concreto se requirió de muchos estudios y pruebas para poder determinar si el concreto está sano, para lo cual se emplearon los diferentes métodos que se mencionaron en este trabajo los cuales nos están dando las características internas del concreto, es decir, examina las fisuras que existen en el concreto, dándonos la calidad del concreto que es el caso del ultrasonido; basándonos en la definición de dureza como "algo" difícil de romper y a la resistencia como aquello que se opone a la reacción de una fuerza, el esclerómetro es de gran ayuda para saber la dureza interna del concreto.

Otro método de gran importancia es la prueba axial, la cual nos indica la resistencia del concreto después de un largo plazo, esto es importante porque nos está indicando si el concreto era de buena calidad, además si se cumplieron con las especificaciones de proyecto y si se tuvo la calidad necesaria; asimismo, la petrografía de placa delgada nos indica las características internas del material y el comportamiento que desarrolló durante el siniestro.

De todo lo anterior podemos decir que la estructura analizada está dentro de los parámetros mencionados en este trabajo; por lo que, desde el punto de vista de los resultados obtenidos y tomando en cuenta las recomendaciones de las personas especializadas dentro de la estructura analizada, la reestructuración de la edificación es posible.

VI.- BIBIOGRAGIA.

- 1.- CARTILLA DELCONCRETO
(ACI - SP - 1)
F.R. MC MILLAN Y LEWIS H. FUTHILL.
INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL
CONCRETO.A.C.
MEXICO,D.F. 1982. PP 79

- 2.- PRACTICA RECOMENDABE PARA LA EVALUACION DE
LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE
RESISTENCIA.
(ACI - SP - 01)
AMERICAN CONCRETE INSTITUTE.1977
INSTITUTO MEXICO DEL CONCRETO. 1978
QUINTA EDICION 1982
MEXICO,D.F.

- 3.- EVALUATION AND' REPAIR OF FIRE DAMAGE TO
CONCRETE.
(ACI - SP - 92)
AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. 1986
DETROIT, MICHIGAN.

4.- ESTRUCTURAS DE CONCRETO RESISTENTES AL
FUEGO.

INSTITUTO MEXICANO DEL CONCRETO. A.C.
MEXICO,D.F. 1982

5.- PETROGRAPHIC EXAMINATION OF HARDENED
CONCRETE.

ASTM C-856 -83

CONCRETE AND CONCRETE AGGREGATES.

PUBLISHED 1983.

6.- PERFORMAR OF CONCRETE STRUCTURES EXPOSED TO
FIRE.

MELVIN S. ABRAMS.

NINTH NATIONAL SAMPE.1977