



# COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ CONSEJO NACIONAL

## Incendios en estructuras de concreto armado

M.I. Ing. Alfonso Cordero Ramos


# Los incendios:

- Son un peligro presente, por lo cual, es importante estudiarlos con el fin de reducir las pérdidas de vidas, los daños en las estructuras y bienes existentes en su interior.
- Pueden ocasionar daños desde un simple manchado en muros y losas, ocasionado por el humo, hasta la destrucción de la estructura.




# Comportamiento de los materiales en un incendio:

	Madera	Acero	Hormigón
Resistencia al fuego sin protección	Muy baja	Baja	Alta
Combustibilidad	Alta	Ninguna	Ninguna
Contribución a la carga de fuego	Alta	Ninguna	Ninguna
Conductividad del calor	Baja	Muy alta	Muy baja
Incorpora protección frente al fuego	Muy baja	Baja	Alta
Posibilidad de reparación después del fuego	Ninguna	Baja	Alta
Protección para los usuarios durante la evacuación y los bomberos	Baja	Baja	Alta



¿Las estructuras de concreto armado son completamente resistentes a los incendios?





Se suele pensar que las estructuras de concreto armado son completamente resistentes a los incendios, sin embargo, sufren alteraciones físicas y químicas que dependen:

- (1) Temperatura alcanzada;
- (2) Tiempo de exposición;
- (3) Tipo de composición y;
- (4) Tipo de enfriamiento.



La tendencia actual es hacer que los elementos estructurales sean más livianos, sin embargo, esto ha traído la desventaja de tener menores recubrimientos de concreto para el acero de refuerzo; además cuanto más liviano sea el elemento, más rápidamente se elevará su temperatura y esto desencadenará en la pérdida de sus propiedades mecánicas.



El fuego produce en el concreto lo siguiente:

- (1) Disminución de su resistencia.
- (2) Disminución del módulo de elasticidad.
- (3) Incremento de las deformaciones admisibles.
- (4) Alargamiento de la longitud original.
- (5) Descomposición del agregado.
- (6) Fisuración y desprendimiento de trozos de concreto.
- (7) Problemas de adherencia entre el concreto y el acero.









# Colapsos:



Colapso de la viga por incremento del momento positivo, se observa deformaciones excesivas y grietas verticales.

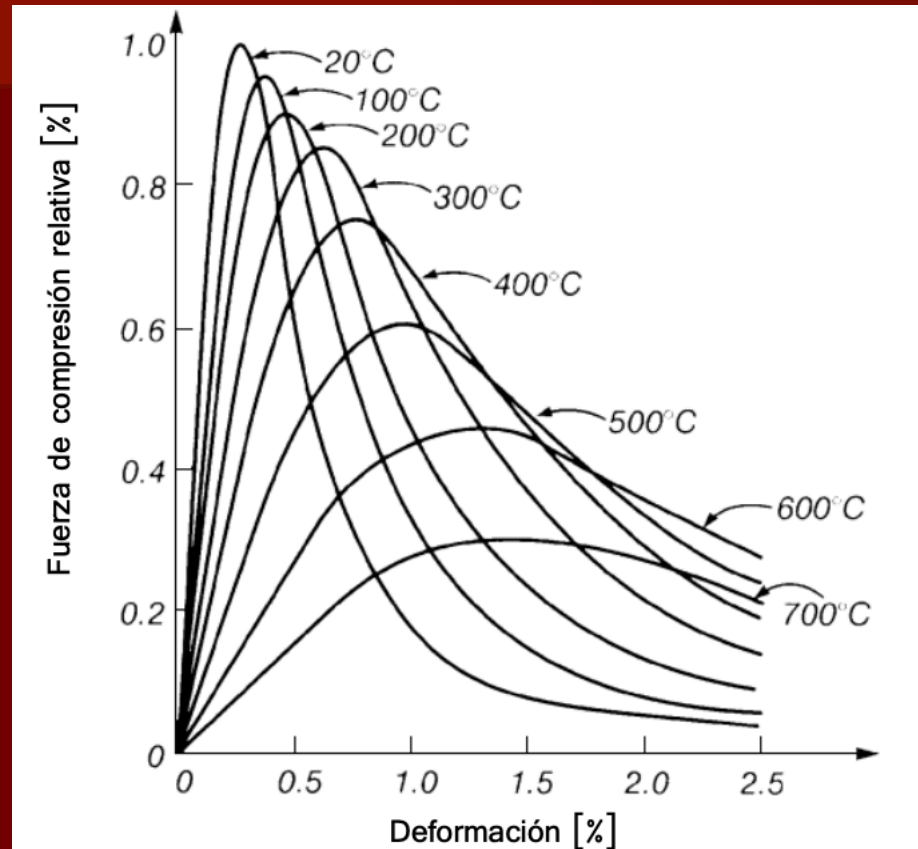


Colapso de la losa por incremento del momento positivo; las zonas de momento negativo permanecen en su lugar.

# Efectos de la temperatura en el concreto:

- (1) A los 100 °C se produce la evaporación del agua capilar, la contracción de la pasta y la formación de grietas.
- (2) Entre los 100 y 300 °C se produce la pérdida completa del agua capilar, no se aprecia un cambio significativo de las propiedades del concreto.
- (3) Entre los 300 y 400 °C se produce una apreciable disminución de la resistencia, aparecen las primeras fisuras en el concreto.
- (4) Más de 500 °C se produce alteración irreversible en el concreto, deshidratación de la pasta.
- (5) A los 600 °C los agregados se expanden produciendo tensiones internas en el concreto y disgregándolo.
- (6) Entre 600 y 800 °C la adherencia del acero al concreto prácticamente desaparece.

# Relación esfuerzo deformación en el concreto:



# Cambios de color del concreto:

- (1) A los 200 °C su color es gris.
- (2) A los 300 °C su color es rosáceo.
- (3) De los 300 a 600 °C su color es rojo.
- (4) De los 600 a 950 °C su color es gris con puntos rojizos.
- (5) De los 950 a 1000 °C su color es amarillo anaranjado.
- (6) De los 1000 a 1200 ° C su color es amarillo claro.

## Spalling:

Es el proceso de desprendimiento del concreto que ocurre a temperaturas de 100 a 150 °C. Al subir la temperatura, en el concreto se produce la evaporación del agua existente en su interior, esto origina un aumento de presión en la masa densa del concreto en donde generalmente los poros no están interconectados y hace difícil la salida del vapor de agua; esta presión elevada desencadena en el desprendimiento del recubrimiento de concreto, dejando descubierto al acero de refuerzo, con la pérdida posterior de su resistencia.

# Desprendimiento del recubrimiento:



Vigas de concreto.



Losa de concreto.



# Factores que influyen en los daños:

- (1) Naturaleza de los materiales que se almacenan y su cantidad.
- (2) Corrientes de aire que entran por puertas, ductos, cajas de escaleras, ventanas, que son importantes en la propagación del incendio.
- (3) Cenizas producto de la combustión, que forman capas y ayudan a acumular el calor, ocasionando nuevos focos de incendio.
- (4) El agua a presión empleada para combatir el incendio produce enfriamientos y contracciones bruscas que dañan los materiales.

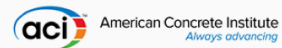


ACI/TMS 216.1-14

An ACI/TMS Standard

Code Requirements  
for Determining  
Fire Resistance of  
Concrete and Masonry  
Construction Assemblies

Reported by ACI/TMS Committee 216





**ASTM E119** 2019 Edition, October 1, 2019

# STANDARD TEST METHODS FOR FIRE TEST OF BUILDING CONSTRUCTION AND MATERIALS.



### III.1 ARQUITECTURA

- A.010 Condiciones generales de Diseño  
(D. S. N° 010-2009-VIVIENDA)  
Modificación de la Norma Técnica A.010  
(D.S. 005-2014-VIVIENDA)
- A.020 Vivienda
- A.030 Hospedaje  
(R. M. N° 005-2019-VIVIENDA)
- A.040 Educación  
(R. M. N° 068-2020-VIVIENDA)
- A.050 Salud  
(D. S. N° 011-2012-VIVIENDA)
- A.060 Industria
- A.070 Comercio  
(D. S. N° 006-2011-VIVIENDA)
- A.080 Oficinas
- A.090 Servicios Comunales
- A.100 Recreación y Deportes  
Modificación de la Norma Técnica A.100  
(D.S. 006-2014-VIVIENDA)
- A.110 Transportes y Comunicaciones
- A.120 Accesibilidad Universal en Edificaciones  
(R.M. N° 072-2019-VIVIENDA)
- A.130 Requisitos de Seguridad  
Incorporación de dos capítulos a la  
Norma Técnica A.130  
(D. S. N° 017-2012-VIVIENDA)
- A.140 Bienes Culturales inmuebles y zonas  
monumentales

# RNE - A.130-REQUISITOS DE SEGURIDAD

Clasifica las estructuras resistentes al fuego:

- (1) Resistente al fuego.
- (2) Semi-resistente al fuego.
- (3) Incombustible con protección.

# Resistentes al fuego:

## Resistencia mínima de 4 horas:

- (1) La estructura.
- (2) Muros resistentes.
- (3) Muros perimetrales.

y

## Resistencia mínima de 2 horas:

- (1) Tabiquería interior no portante.
- (2) Techos.

# Semi-resistentes al fuego:

## Resistencia mínima de 2 horas:

- (1) La estructura.
- (2) Muros resistentes.
- (3) Muros perimetrales.

y

## Resistencia mínima de 1 hora:

- (1) Tabiquería interior no portante.
- (2) Techos.



# Incombustibles con protección al fuego:

Resistencia mínima de 2 horas:

(1) Muros perimetrales.

y

Resistencia mínima de 1 hora:

(1) La estructura.

(2) Muros resistentes.

(3) Tabiquería interior no portante.

(4) Techos.





# RNE A.130

## TABLAS DE RECUBRIMIENTOS MÍNIMOS DE PROTECCION AL FUEGO EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES

ELEMENTOS ESTRUCTURALES PROTEGIDOS	MATERIAL AISLANTE	RECUBRIMIENTO MÍNIMO POR MATERIAL AISLANTE (EN PULGADAS) CATEGORIAS		
		Resistencia al Fuego (6 Hrs)	Semi Resist. al Fuego (6 Hrs)	Incombust. Con Protección (1 Hrs)
Armaduras en vigas y columnas de concreto armado.	Concreto Estructural	1 1/2	1 ½	1 1/2
Armadura en viguetas de concreto	Concreto estructural	1 1/4	1	3/4
Armaduras y amarres en losas de pisos y techos	Concreto estructural	1	¾	3/4
Columnas de acero y todos los elementos de tijerales principales	Concreto estructural	2 1/2	1 ½	1
Elementos de 6 x 6	Concreto estructural	2	1	1
Elementos de 6 x 8	Concreto estructural	1 1/2	1	1
Elementos de 12 x 12	Concreto estructural	2	1	1
Vigas de acero Tendones en vigas pre o post esforzadas	Concreto estructural	4	2 ½	1 1/2
Tendones en placas pre o post esforzadas	Concreto estructural		1 ½	1

# RNE A.130

## TABLAS DE ESPESORES MÍNIMOS PARA PROTECCION AL FUEGO EN PISOS, TECHOS Y CIELO RASO

CONSTRUCCION DE PISOS O TECHOS	CONSTRUCCION DE CIELO RASO	ESPESOR MÍNIMO TOTAL EN PULGADAS - CATEGORIAS		
		Resistencia al Fuego (4 Hrs)	Semi Resist. al Fuego (2 Hrs)	Incombust. Con Protección (1 Hrs)
Losa de concreto.	Ninguno	6 1/2	4 1/2	3 1/2
Losa de concreto.	Enlucido de yeso o mortero contra el fondo del techo	6	4	3
Aligerado de viguetas de concreto estructural y ladrillo hueco de techos	Enlucido de yeso o mortero contra el fondo del techo		6" de ladrillo y 2" de losa	
Aligerado de viguetas de concreto estructural y ladrillo hueco de techos	Ninguno			5 ½ (4" de ladrillo 1 ½" de losa)
Viguetas de concreto	Cielo raso suspendido de vermicurita de 1" de espesor mínimo colgado 6" debajo de las viguetas	3 (sólo losa)	2 (sólo losa)	
Viguetas de acero con losa de concreto	Cielo raso enlucido en malla incombustible asegurada contra el fondo de las viguetas de espesor mínimo 5/8" y mortero 1:3		2 ¼" (sólo losa)	2"(sólo losa) Combustible Construcción pesada

# RNE A.130

## TABLAS DE ESPESORES MÍNIMOS PARA PROTECCION AL FUEGO EN PAREDES Y TABIQUES

MATERIALES DE PAREDES O TABIQUES	CONSTRUCCION	ESPESOR MÍNIMO TOTAL EN PULGADAS - CATEGORIAS		
		Resistencia al Fuego (4 Hrs)	Semi Resist. al Fuego (2 Hrs)	Incombust. Con Protección (1 Hrs)
Concreto armado	Sólido sin enlucir	6 1/2	4 1/2	3 1/2
Ladrillos de arcilla cocida calcáreos o de:	Ladrillos sólidos sin enlucir	8	6	4
Bloques huecos de concreto	Espesor mínimo de cascarón 2 1/4" sin enlucir	8		
	Espesor mínimo de cascarón 1 3/4" sin enlucir	12		
	Espesor mínimo de cascarón 1 3/8" sin enlucir		8	6
Ladrillos huecos de arcilla cocida, no portantes	Dos celdas mínimo dentro del espesor de la pared, enlucido en ambas caras		7	5
	Tres celdas mínimo dentro del espesor de la pared, enlucido en ambas caras	12		
Bloqueo	Enlucido o sin enlucir	6	4	3
Tabique sólido de mortero o yeso	Armazón interno incombustible			2
Paneles de yeso prensado				2

# Recubrimiento mínimo en una losa:

ACI/TMS  
216.1-14

Aggregate type	Cover*† for corresponding fire resistance, in.					
	Restrained	Unrestrained				
	4 or less	1 hour	1-1/2 hours	2 hours	3 hours	4 hours
Nonprestressed						
Siliceous	3/4	3/4	3/4	1	1-1/4	1-5/8
Carbonate	3/4	3/4	3/4	3/4	1-1/4	1-1/4
Semi-lightweight	3/4	3/4	3/4	3/4	1-1/4	1-1/4
Lightweight	3/4	3/4	3/4	3/4	1-1/4	1-1/4
Prestressed						
Siliceous	3/4	1-1/8	1-1/2	1-3/4	2-3/8	2-3/4
Carbonate	3/4	1	1-3/8	1-5/8	2-1/8	2-1/4
Semi-lightweight	3/4	1	1-3/8	1-1/2	2	2-1/4
Lightweight	3/4	1	1-3/8	1-1/2	2	2-1/4

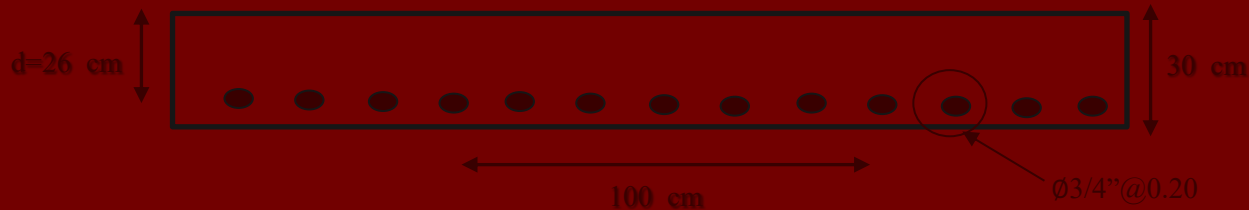
# Espesor mínimo en una losa o muro:

ACI/TMS  
216.1-14

Aggregate type	Minimum equivalent thickness for fire-resistance rating, in.				
	1 hour	1-1/2 hours	2 hours	3 hours	4 hours
Siliceous	3.5	4.3	5.0	6.2	7.0
Carbonate	3.2	4.0	4.6	5.7	6.6
Semi-lightweight	2.7	3.3	3.8	4.6	5.4
Lightweight	2.5	3.1	3.6	4.4	5.1

# Determinar el recubrimiento de una losa mediante el procedimiento analítico del ACI/TMS 216.1-14

En una losa de 30 cm de peralte con refuerzo en su cara interior de  $\emptyset 3/4'' @ 0.20$ , con  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ ,  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$  y un momento de servicio  $M = 4.35 \text{ t.m}$



$$A_s = 14.2 \text{ cm}^2/\text{m}; b = 100 \text{ cm}; d = 26 \text{ cm}$$

$$\rho = A_s / b d = 0.0055; \omega = \rho f_y / f'c = 0.1100$$

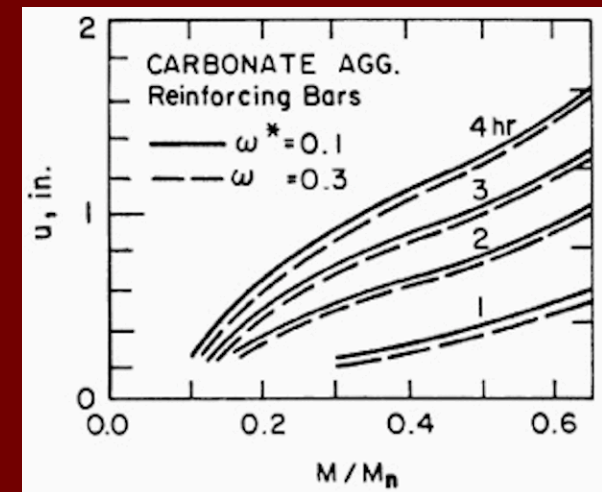
$M_n$ : momento nominal

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot d (1 - 0.59\omega) = 14.50 \text{ t.m} = 104835 \text{ lb.ft}$$

$M$ : momento nominal

$$M = 4.35 \text{ t.m} = 31450 \text{ lb.ft}$$

$$M / M_n = 0.30$$



# Reparación de estructuras dañadas por incendios:

- (1) Toda estructura que ha sido sometida a un incendio deberá ser rigurosamente evaluada.
- (2) Se deberá realizar levantamientos, plasmando lo observado en planos, indicando las áreas más afectadas y los tipos de daños encontrados.
- (3) En las áreas dañadas se realizarán ensayos con esclerómetro para determinar las resistencias del concreto, se deberá tener en cuenta los valores de las resistencias con las que se diseñó y también la antigüedad de la estructura.
- (4) Se podrá también realizar ensayos mediante la extracción de muestras de concreto o de acero de refuerzo para determinar su resistencia.

# Reparación de estructuras dañadas por incendios:

5. También se podrá realizar mediciones de las frecuencias naturales de vibración de las losas y así evaluar su estado general y comparar los resultados con métodos analíticos.
6. Se deberá elaborar modelos matemáticos de análisis no lineal que consideren la variación de las propiedades elásticas del concreto y del acero con la temperatura y el tiempo de exposición.
7. Con la información recopilada y con los resultados de los ensayos y análisis, se planteará un proyecto de reforzamiento, el cual podrá consistir en inyecciones de resina epóxica a las grietas menores o reconstrucción o reforzamiento de los elementos con grietas mayores y con bajas resistencias en el concreto y el acero.



# Reparación de estructuras dañadas por incendios:

8. Con el procedimiento de reforzamiento planteado se realizará un modelo matemático y se comprobará que la estructura repondrá la resistencia a los elementos o al conjunto que fue dañado por el incendio.

# Reparación de estructuras dañadas por incendios:



Inyección de resina epóxica en grietas.



Inyección de resina epóxica en grietas.

# Reparación de estructuras dañadas por incendios:



Encamisado de columna.



Encamisado de columna  
y collarín metálico.

# Reparación de estructuras dañadas por incendios:



Encamisado de columna con perfiles metálicos.



Encamisado de columna con perfiles y planchas metálicas.

# Reparación de estructuras dañadas por incendios:



Reforzamiento de columna y viga con fibra de carbono.



Reforzamiento de columna con fibra de carbono.

## Conclusiones:

- (1) Se debe proporcionar a las estructuras refuerzo adicional el mismo que servirá durante la ocurrencia de un incendio en la redistribución e incremento de los momentos.
- (2) El recubrimiento de las estructuras cumple un rol muy importante en la protección de la armadura durante los incendios.
- (3) El uso del agua en el combate de los incendios origina un daño considerable a las estructuras por el cambio brusco de temperatura.
- (4) La estructura reparada deberá recuperar las capacidades de resistencia que tenía antes del incendio.



Muchas gracias.