


Capítulo 10

**Prevención
Frente a
Riesgos de
Incendios**


Mauricio López
Rodrigo Aravena
Orelvis González
Felipe Vázquez

Prevención de Problemas Patológicos en Estructuras de Concreto




Patricia Martínez y Mauricio López

Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción.
Pontificia Universidad Católica de Chile
Santiago de Chile, Chile.




Colaboración Interamericana en Materiales (CIAM) Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
Proyecto CIAM 5426: Prevención de problemas patológicos en estructuras de concreto.


1

<h2 style="margin: 0;">10. Prevención frente a riesgos de Incendios</h2> <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>INCENDIOS EN EDIFICACIONES: FENOMENOLOGÍA Y FACTORES INVOLUCRADOS</p> <p>Contexto actual de los materiales y de la ingeniería contra incendios</p> <p>Combustión de materiales y dinámica de incendio</p> <p style="margin-left: 20px;"><i>Combustión de materiales</i></p> <p style="margin-left: 20px;"><i>Evolución temporal de un incendio</i></p> <p style="margin-left: 20px;"><i>Carga Combustible y Tasa de Liberación de Calor un incendio</i></p> <p style="margin-left: 20px;"><i>Transferencia de calor y flujo de calor</i></p> <p>COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ARMADO FRENTE AL FUEGO</p> <p>Introducción</p> <p>Cambio en las propiedades mecánicas del concreto sometido a altas temperaturas</p> <p>Cambio en las propiedades mecánicas del acero de refuerzo sometido a altas temperaturas</p> <p>Fenómenos producidos en el concreto cuando se somete a altas temperaturas</p> <p>Fenómenos producidos en el concreto cuando se somete a enfriamiento rápido</p> <p>Fenómenos producidos en el acero cuando se somete a altas temperaturas</p> <p>Evaluación de estructuras de concreto afectadas por incendios</p> <p>PREVENCIÓN Y MEJORAMIENTO DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO FRENTE AL FUEGO</p> <p>Introducción</p> <p>Sistemas pasivos</p> <p>Prevención y mejoramiento mediante un diseño estructural (sistemas de apoyo, recubrimiento, otros)</p> <p>Prevención y mejoramiento mediante un diseño de mezcla, dosificación y concretos con propiedades especiales (Revisa y complementa RAP)</p> <p style="margin-left: 20px;"><i>Contenido de agua en las mezclas</i></p> <p style="margin-left: 20px;"><i>Permeabilidad y Porosidad</i></p> <p style="margin-left: 20px;"><i>Compatibilidad agregado/pasta de cemento</i></p> <p style="margin-left: 20px;"><i>Concretos con propiedades especiales</i></p> </div>	C O N T E N I D O C A P I T U L O 10
	

2

<h2>10. Prevención frente a riesgos de Incendios</h2>	<p>C o n t e n i d o</p> <p>CAPITULO 10</p>
<p>ENSAYOS GENERALES</p> <ul style="list-style-type: none"> Introducción Tipos de Ensayos <ul style="list-style-type: none"> <i>Resistencia al Fuego</i> Ensayos de Reacción al Fuego <p>PREVENCIÓN Y COMBATE DE INCENDIOS EN EDIFICACIONES: DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y MANTENCIÓN DE SISTEMAS (SISTEMAS ACTIVOS Y PASIVOS)</p> <ul style="list-style-type: none"> Introducción Sistemas Activos Sistemas Pasivos <ul style="list-style-type: none"> <i>Diseño</i> <i>Implementación</i> <i>Mantenión</i> Métodos Prescriptivos vs Métodos por Desempeño en el diseño y funcionamiento de las instalaciones <p>REFERENCIAS</p>	
	

3

<h3>INCENDIOS EN EDIFICACIONES: FENOMENOLOGÍA Y FACTORES INVOLUCRADOS</h3>	<p>Prevenición Frente a Riesgos de Incendios</p>
<p style="text-align: center;">Contexto actual de los materiales y de la ingeniería contra incendios</p> <p>El origen, propagación, desarrollo y consecuencias de un incendio son fenómenos de alta complejidad que involucran:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mecánica de fluidos • Mecánica de sólidos • Termodinámica • Transferencia de calor • Mecánica y composición de materiales • Modelación matemática • Ingeniería estructural • Ingeniería de construcción • entre otras 	
	<p>10</p>

4

INCENDIOS EN EDIFICACIONES: FENOMENOLOGÍA Y FACTORES INVOLUCRADOS

Contexto actual de los materiales y de la ingeniería contra incendios

El conocimiento actual de fuego y el desarrollo de nuevos materiales en particular nuevos tipos de concreto permiten poner el desafío de contar con normas y especificaciones orientadas al desempeño.

Para ellos es indispensable comprender de dinámica del fuego y la microestructura del concreto.

Prevención Frente a Riesgos de Incendios

red prevenir
10

5

Combustión de materiales y dinámica de incendio

Combustión de materiales

Ejemplo: combustión del propano

$$C_3H_8 + 5 O_2 \rightarrow 3 CO_2 + 4 H_2O + \text{Calor}$$

Propano	Oxígeno	Dióxido de Carbono	Agua	
---------	---------	--------------------	------	--

<http://www.physics.ohio-state.edu, 2012>

red prevenir
10

6

Combustión de materiales y dinámica de incendio

Dinámica del Fuego: condiciones necesarias

Reacción en cadena

F. de calor

Combustible

Comburente

Poins i'Graa, 2003

emisor de gases para reacción

Reacción de retroalimentación

- suficiente oxígeno
- suficiente calor
- suficientes gases inflamables

Fuente de calor para inflamar gases e iniciar reacción

O₂ para reacción

red prevenir

Prevención Frente a Riesgos de Incendios
10

7

Combustión de materiales y dinámica de incendio

Evolución temporal de un incendio

temperatura

temperatura máxima del incendio

todo el material combustible en combustión

ignición

flashover (inflamación generalizada)

no hay riesgos para la estructura puede haber exceso de humo

etapa de calentamiento

etapa de enfriamiento

combustión completa

tiempo

red prevenir

Prevención Frente a Riesgos de Incendios
10

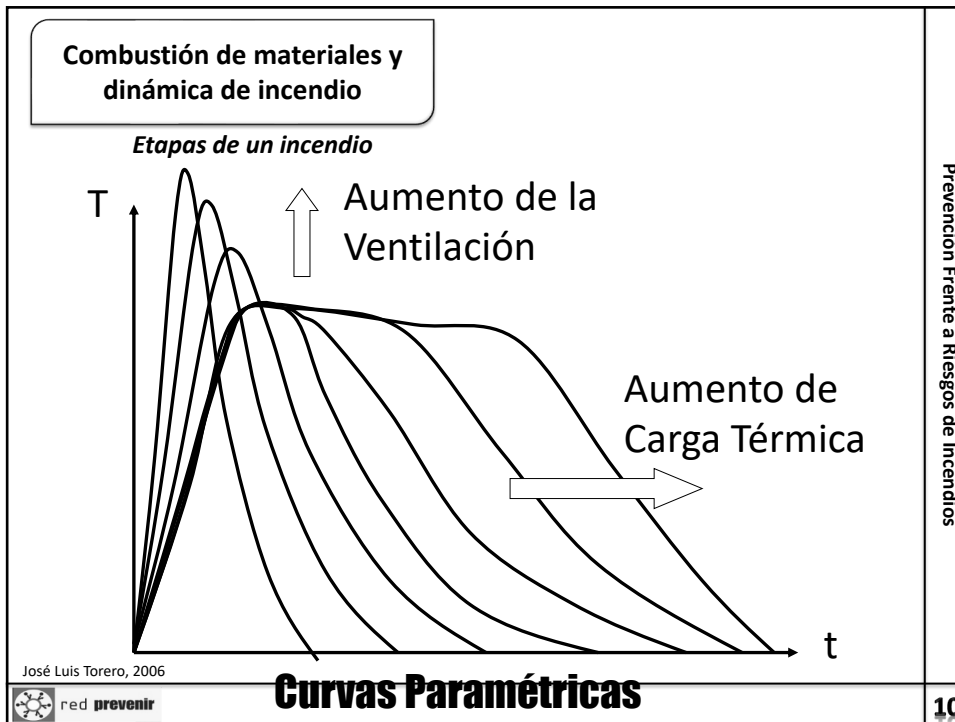
8

<p>Combustión de materiales y dinámica de incendio</p> <p><i>Evolución temporal de un incendio</i></p>		<p>Prevención Frente a Riesgos de Incendios</p>
<p>http://francisco-godinez.blogspot.ca, 2012</p>		
<p>red prevenir</p>		
		<p>10</p>

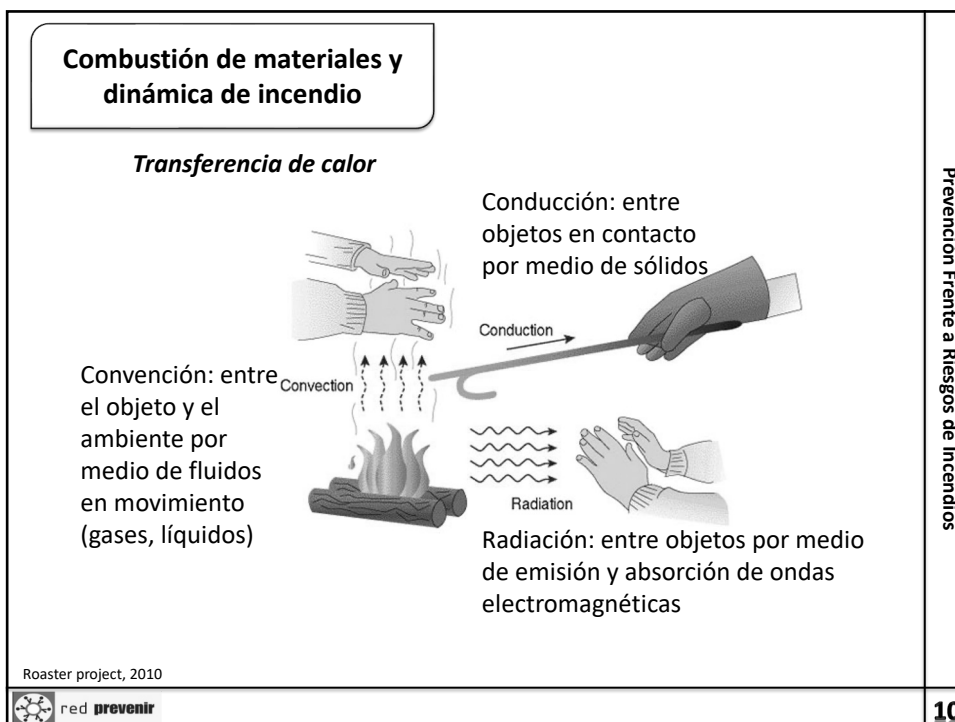
9

<p>Combustión de materiales y dinámica de incendio</p> <p><i>Carga Combustible</i></p> <p>Suma de toda la masa con potencial de entrar en combustión</p> $C = C_{c1} \cdot m_1 + C_{c2} \cdot m_2 + C_{c3} \cdot m_3 + \dots$ <p>C : carga combustible</p> <p>C_{ci} : calor de combustión del material i</p> <p>m_i : masa del material i</p> <p style="text-align: right;">Concentración de la masa carga combustible</p> $D_c = \frac{C}{S}$ <p>D_c : densidad de carga combustible media</p> <p>C : carga combustible</p> <p>S : superficie de planta</p>		<p>Prevención Frente a Riesgos de Incendios</p>
<p>red prevenir</p>		
		<p>10</p>

10



11



12

COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ARMADO FRENTE AL FUEGO



Bailey, 2006

13

Cambio en las propiedades mecánicas del concreto sometido a altas temperaturas

Las propiedades del concreto (resistencia, módulo de elasticidad, expansión térmica, conductividad térmica, calor específico, etc.) varían significativamente cuando es expuesto a altas temperaturas.

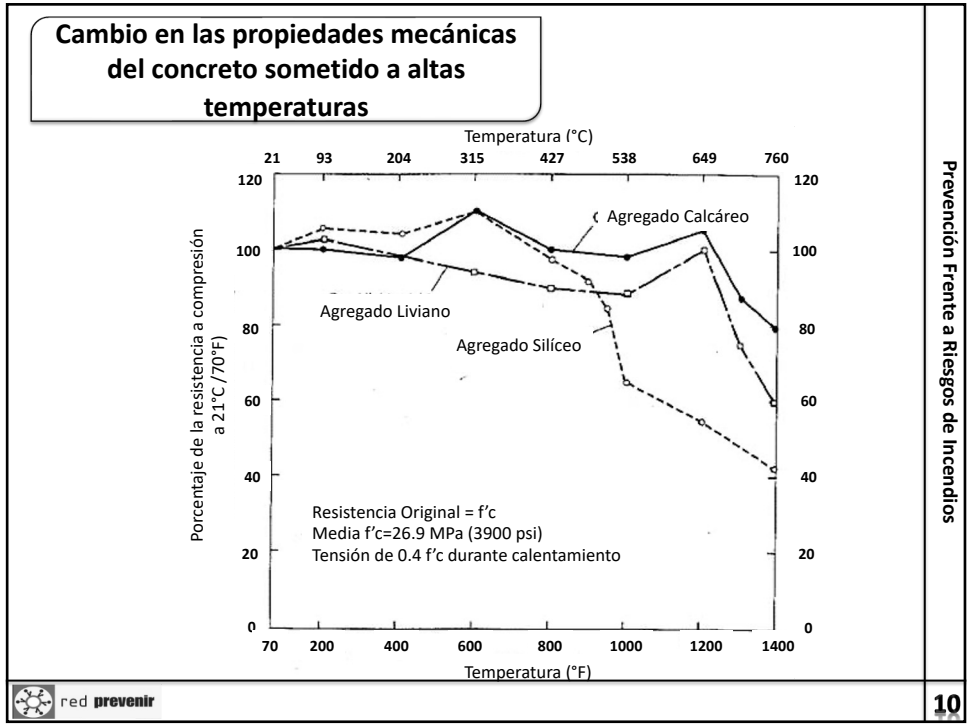
La disminución de estas propiedades se debe a:

- Cambios físico – químicos en la pasta de cemento y el agregado;
- Incompatibilidad térmica entre agregado y pasta,

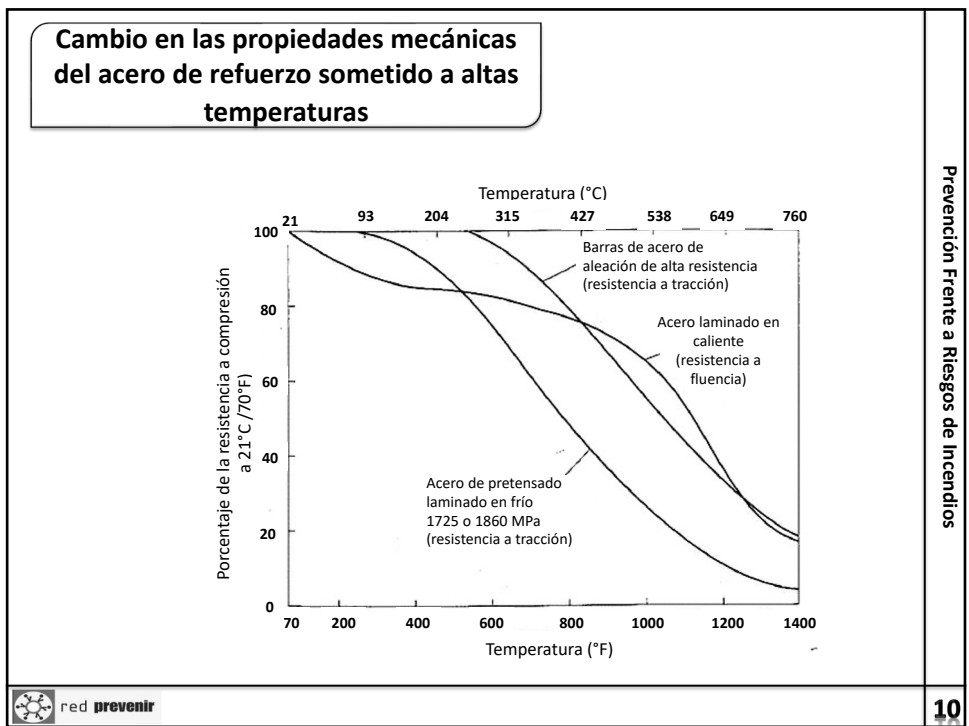
También se ve afectada por las condiciones ambientales de uso y del incendio:

- temperatura,
- tasa de calentamiento,
- nivel de carga aplicada,
- permeabilidad del concreto que afecta a la pérdida de humedad.

14



15



16

Fenómenos producidos en el concreto cuando se somete a altas temperaturas

Temperatura en el concreto	Fenómenos
250 – 420°C	Puede ocurrir desconche (spalling).
300°C	Comienza la pérdida de resistencia, pero solo en las zonas perimetrales del elemento de concreto, la temperatura interior es aun baja.
550 – 600°C	Se produce creep y pérdida de capacidad soportante.
600°C	Por sobre esta temperatura, el concreto no se comporta a su capacidad estructural completa.
900°C	Durante un incendio, la temperatura del aire raramente excede este nivel, pero la temperatura en las llamas puede sobrepasar de 1200°C

10

17

Fenómenos producidos en el concreto cuando se somete a altas temperaturas

1000-1200°C: sinterización

950-1000°C: destrucción C-S-H

600-950°C: descomposición de C-S-H
agrietamiento por incompatibilidad árido/pasta, pérdida de resistencia (entre 60 y 90%)

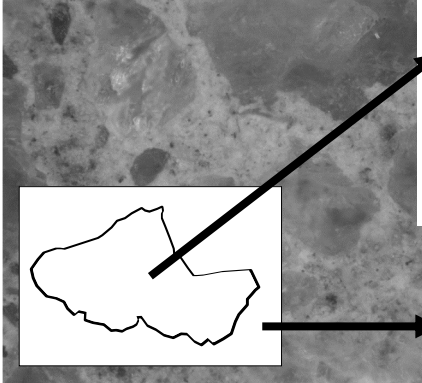
400-600°C: $\text{Ca(OH)}_2 \longrightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$
agrietamiento por contracciones

30-300°C: evaporación agua en capilares

10

18

Fenómenos producidos en el concreto cuando se somete a altas temperaturas




Agregado:

- Modulo elástico_a
- Coefficiente expansión térmica_a
- Calor específico_a
- Conductividad térmica_a
- Estabilidad a altas temperaturas_a

Pasta de cemento:

- Modulo elástico_p
- Coefficiente expansión térmica_p
- Calor específico_p
- Conductividad térmica_p
- Estabilidad a altas temperaturas_p

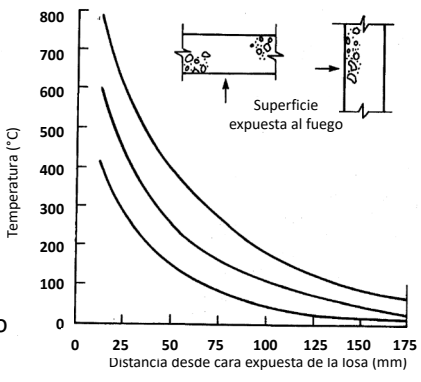

10


19

Evaluación de estructuras de concreto afectadas por incendios

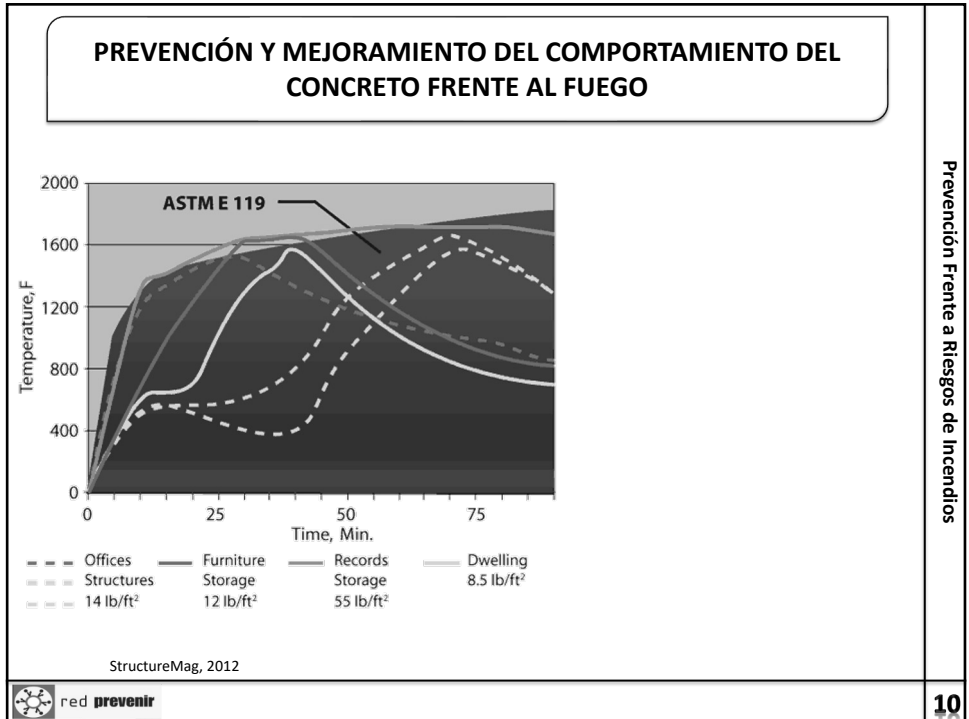
Se utilizan dos aproximaciones:

- Inspección visual: grietas, spalling, pérdida de recubrimiento, pérdida de verticalidad, cambios de coloración, análisis de perfil de temperaturas en elementos
- Modelación del incendio: i) global: determinación de la duración y temperaturas máximas alcanzadas; ii) particular temperaturas alcanzadas en elementos de concreto armado




10

20



21

Prevenición

Los elementos de protección pasiva tienen por objetivo contener y/o retardar la acción del incendio. En este caso existen dos grandes grupos: los del tipo retardantes y los del tipo resistentes al fuego.

Los retardantes están destinados a hacer más lenta las etapas de ignición y propagación, permitiendo maximizar la eficacia de los sistemas de detección y mitigación. Por sí solos no necesariamente evitan que el incendio.

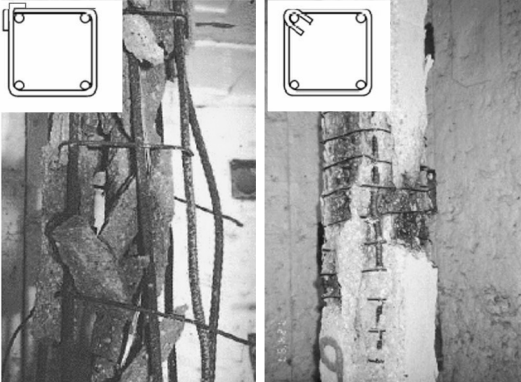
Los elementos resistentes al fuego están destinados a proteger estructuras para evitar colapsos. Constituyen una de las últimas barreras de seguridad.

10

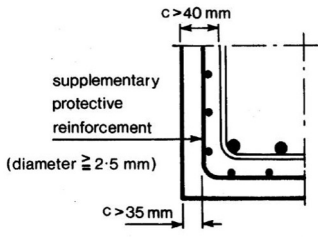
22

**Sistemas pasivos:
diseño estructural**

Estribos para contener el concreto



Kodur, 2003




supplementary protective reinforcement
(diameter ≥ 2.5 mm)

c > 40 mm

c > 35 mm

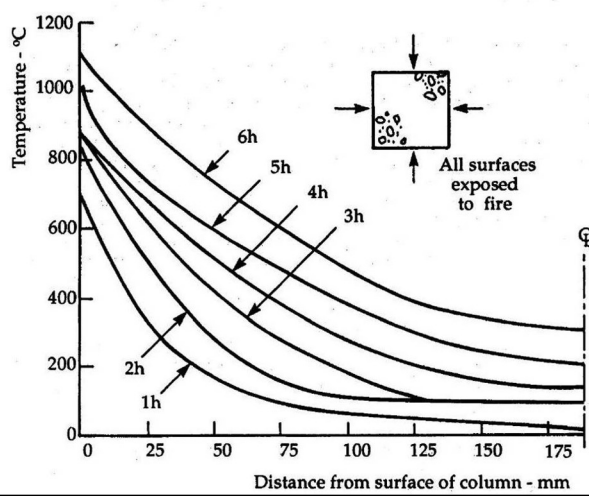
Bailey, 2005


10

23

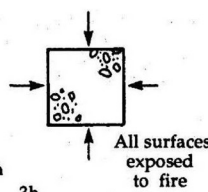
**Sistemas pasivos:
diseño estructural**

Recubrimientos para proteger el acero




Temperature - °C

Distance from surface of column - mm



All surfaces exposed to fire

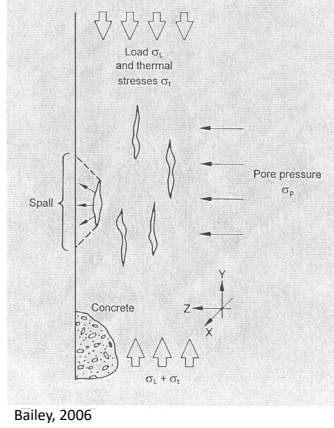

10

24

Sistemas pasivos

Se requiere de un concreto de desempeño adecuado

- Contenido de agua disponible en el concreto de la estructura
- Permeabilidad del concreto



Bailey, 2006

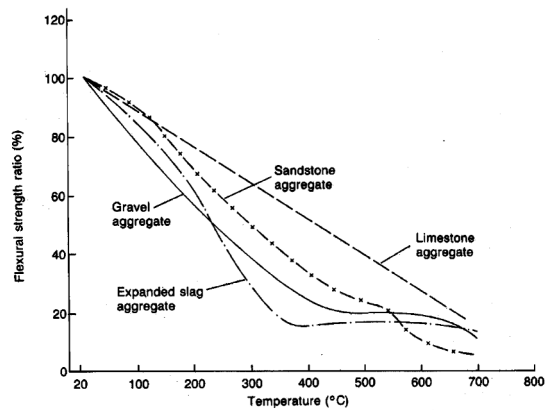


Prevención Frente a Riesgos de Incendios

Sistemas pasivos

Se requiere de un concreto de desempeño adecuado

- Compatibilidad dimensional agregado/pasta



Prevención Frente a Riesgos de Incendios

Sistemas pasivos

Se requiere de un concreto de desempeño adecuado
concreto de resistencia normal se desempeña mejor que el de alta resistencia

Eurocode

Temperatura (°C)	H67 - H75	H85 - H95	H105	H30 / silicio
0	1.0	1.0	1.0	1.0
100	0.75	0.95	0.9	1.0
200	0.7	0.9	0.85	0.95
300	0.65	0.85	0.8	0.9
400	0.45	0.75	0.75	0.8
500	0.3	0.6	0.6	0.6
600	0.25	0.45	0.45	0.45
700	0.2	0.3	0.3	0.3
800	0.15	0.2	0.2	0.2
900	0.1	0.15	0.15	0.15
1000	0.05	0.1	0.1	0.1
1100	0.02	0.05	0.05	0.05
1200	0.0	0.0	0.0	0.0

10

27

Sistemas pasivos

Se requiere de un concreto de desempeño adecuado
concreto liviano

Fibras de polipropileno: producen vías para reducir presión interna al fundirse

Fibras de acero: aumentan resistencia a tracción disminuyendo desconche

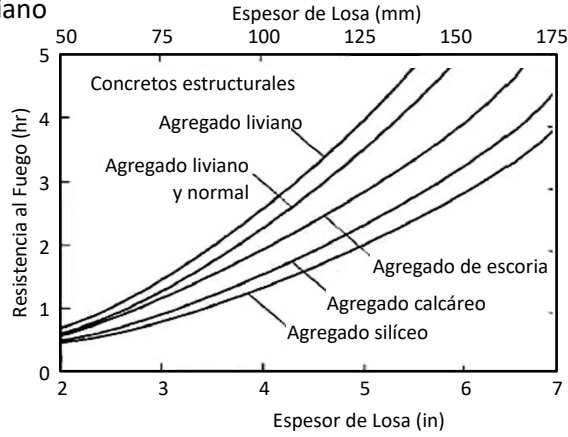
Bailey, 2005

10

28

Sistemas pasivos

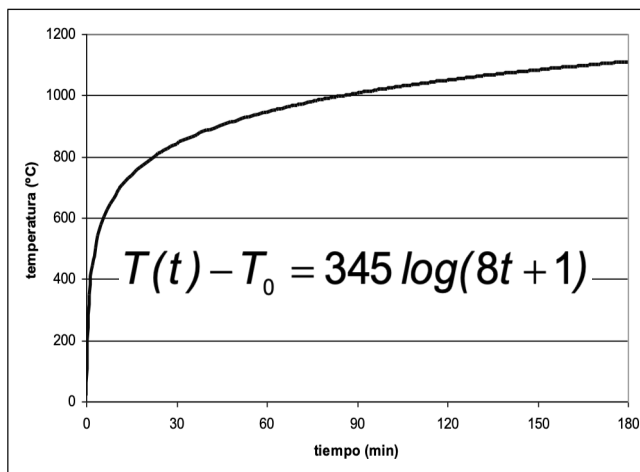
Se requiere de un concreto de desempeño adecuado
concreto liviano



Prevención Frente a Riesgos de Incendios

29

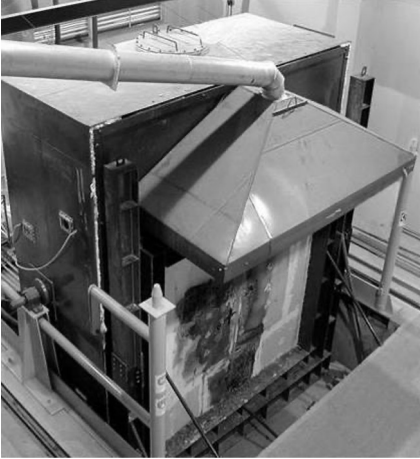
ENSAYOS GENERALES



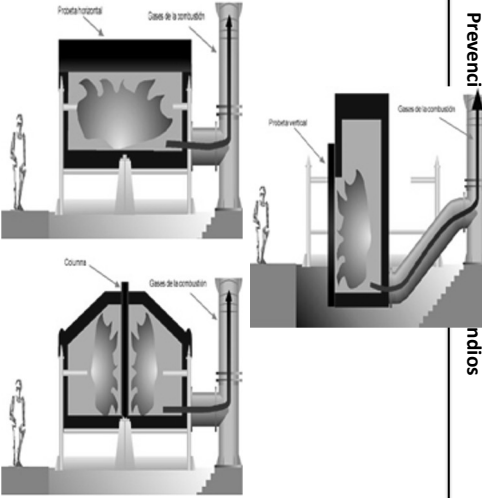
Prevención Frente a Riesgos de Incendios

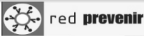
30

Resistencia al Fuego



Dictuc S.A. Chile





Prevención
Incendios

10

31

Resistencia al fuego

Se requiere de un concreto de desempeño adecuado

Tabla C.2. Elementos a compresión


Resistencia al fuego	Lado menor o espesor b_{min} / Distancia mínima equivalente al eje a_m (mm) ⁽¹⁾		
	Soportes	Muro de carga expuesto por una cara	Muro de carga expuesto por ambas caras
R 30	150 / 15 ⁽²⁾	100 / 15 ⁽³⁾	120 / 15
R 60	200 / 20 ⁽²⁾	120 / 15 ⁽³⁾	140 / 15
R 90	250 / 30	140 / 20 ⁽³⁾	160 / 25
R 120	250 / 40	160 / 25 ⁽³⁾	180 / 35
R 180	350 / 45	200 / 40 ⁽³⁾	250 / 45
R 240	400 / 50	250 / 50 ⁽³⁾	300 / 50

⁽¹⁾ Los recubrimientos por exigencias de durabilidad pueden requerir valores superiores.
⁽²⁾ Los soportes ejecutados en obra deben tener, de acuerdo con la Instrucción EHE, una dimensión mínima de 250 mm.
⁽³⁾ La resistencia al fuego aportada se puede considerar REI

Tabla C.4. Losas macizas

Resistencia al fuego	Espesor mínimo h_{min} (mm)	Distancia mínima equivalente al eje a_m (mm) ⁽¹⁾		
		Flexión en una dirección	Flexión en dos direcciones	
			l_y/l_x ⁽²⁾ ≤ 1,5	$1,5 < l_y/l_x$ ⁽²⁾ ≤ 2
REI 30	60	10	10	10
REI 60	80	20	10	20
REI 90	100	25	15	25
REI 120	120	35	20	30
REI 180	150	50	30	40
REI 240	175	60	50	50

⁽¹⁾ Los recubrimientos por exigencias de durabilidad pueden requerir valores superiores.
⁽²⁾ l_x y l_y son las luces de la losa, siendo $l_y > l_x$.



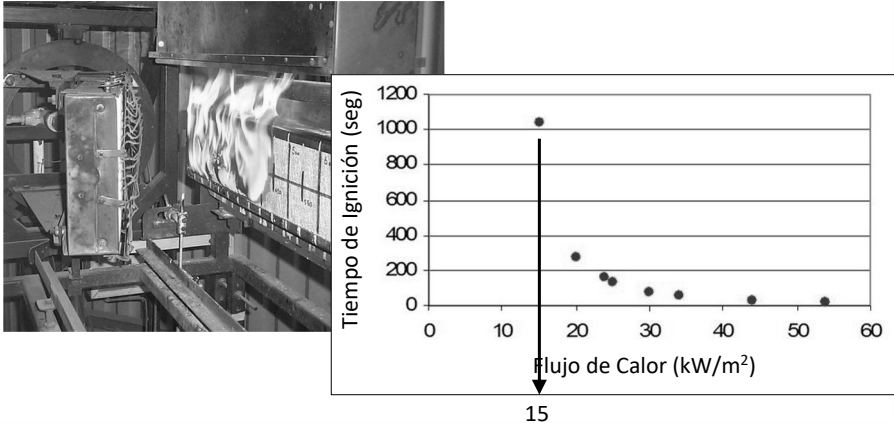
Prevención Frente a Riesgos de Incendios

10

32

Reacción al Fuego

Se requiere medir el flujo mínimo y tiempo mínimo de ignición de materiales de construcción (ASTM E1321)



The figure shows a laboratory fire test setup on the left and a scatter plot on the right. The scatter plot shows the relationship between heat flux (kW/m²) on the x-axis and ignition time (seg) on the y-axis. A vertical line is drawn at 15 kW/m², indicating a critical heat flux value.

Flujo de Calor (kW/m²)	Tiempo de Ignición (seg)
15	1050
18	300
22	150
25	100
30	80
35	70
45	50
55	40

red prevenir

Prevenición Frente a Riesgos de Incendios

10

33

**PREVENCIÓN Y COMBATE DE INCENDIOS EN EDIFICACIONES:
DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y MANTENCIÓN DE SISTEMAS
(SISTEMAS ACTIVOS Y PASIVOS)**




The figure contains two images: a 'no fire' symbol on the left and a close-up of a fire sprinkler head on the right.

red prevenir


Prevenición Frente a Riesgos de Incendios

10

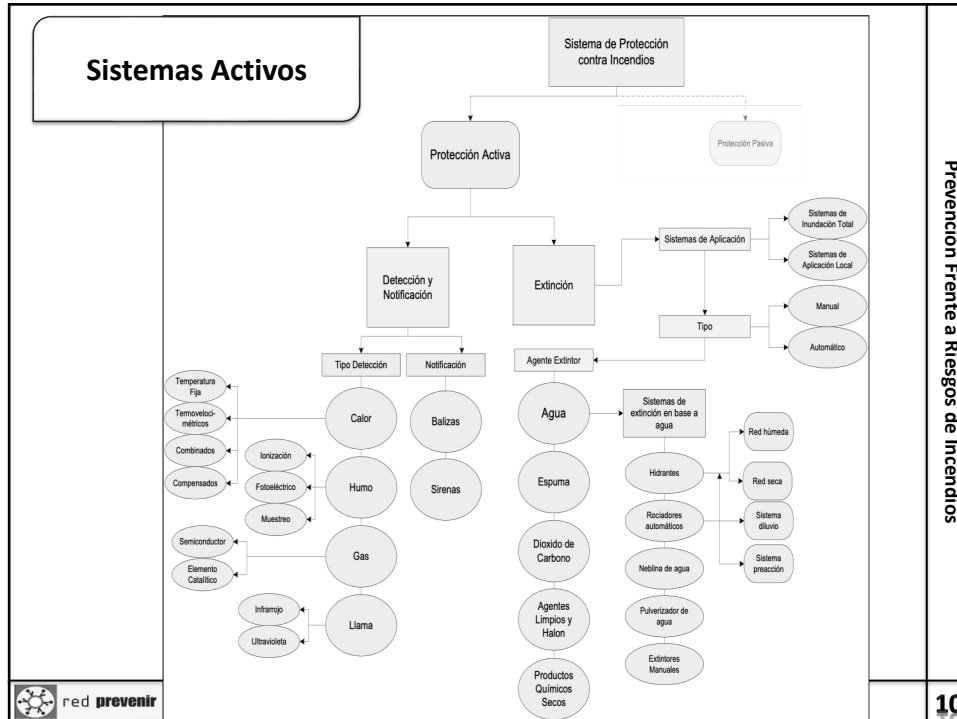
34

Sistemas Pasivos	Prevención Frente a Riesgos de Incendios
<p>Los elementos de Protección pasiva tienen por objetivo contener y/o retardar la acción del incendio. En este caso existen dos grandes grupos: los del tipo retardantes y los del tipo resistentes al fuego (RF).</p>	10
 red prevenir	

35

Sistemas Activos	Prevención Frente a Riesgos de Incendios
<p>Los sistemas de protección activa tienen como finalidad detectar, controlar y/o detener un incendio antes de que se llegue a la etapa de flashover en un incendio, es decir, evitar que el siniestro llegue a declararse totalmente ya sea por métodos manuales o automáticos.</p>	10
<p>En base a esto, las instalaciones pueden contar con un <i>sistema de detección y notificación</i> que permita intervenir y ayudar en el combate de incendios, además de un <i>sistema de extinción</i> que ayude a controlar o extinguir el fuego.</p>	
 red prevenir	

36



37

Prevención Frente a Riesgos de Incendios



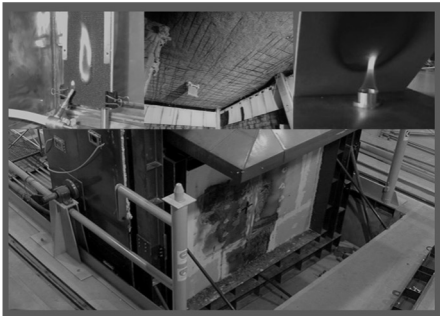
10

Capítulo 11

Prevención Frente a Riesgos de Incendios

Mauricio López
Rodrigo Aravena
Orelvis González
Felipe Vázquez

Prevención de Problemas Patológicos en Estructuras de Concreto



Patricia Martínez y Mauricio López

Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción.
Pontificia Universidad Católica de Chile
Santiago de Chile, Chile.

red prevenir Colaboración Interamericana en Materiales (CIAM) Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología Proyecto CIAM/ 54826: Prevención de problemas patológicos en estructuras de concreto.

38