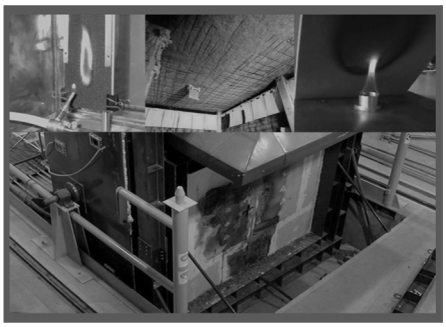
Capítulo 11

Prevención Frente a Riesgos de Incendios

Mauricio López
Rodrigo Aravena
Orelvis González
Felipe Vázquez

Prevención de Problemas Patológicos en Estructuras de Concreto



Patricia Martinez 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.

1

11. Prevención frente a riesgos de Incendios

INCENDIOS EN EDIFICACIONES: FENOMENOLOGÍA Y FACTORES INVOLUCRADOS
- **Contexto actual de los materiales y de la ingeniería contra incendios**
- **Combustión de materiales y dinámica de incendio**
  - *Combustión de materiales*
  - *Evolución temporal de un incendio*
  - *Carga Combustible y Tasa de Liberación de Calor un incendio*
  - *Transferencia de calor y flujo de calor*

COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ARMADO FRENTE AL FUEGO
- **Introducción**
- **Cambio en las propiedades mecánicas del concreto sometido a altas temperaturas**
- **Cambio en las propiedades mecánicas del acero de refuerzo sometido a altas temperaturas**
- **Fenómenos producidos en el concreto cuando se somete a altas temperaturas**
- **Fenómenos producidos en el concreto cuando se somete a enfriamiento rápido**
- **Fenómenos producidos en el acero cuando se somete a altas temperaturas**
- **Evaluación de estructuras de concreto afectadas por incendios**

PREVENCIÓN Y MEJORAMIENTO DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO FRENTE AL FUEGO
- **Introducción**
- **Sistemas pasivos**
- **Prevención y mejoramiento mediante un diseño estructural (sistemas de apoyo, recubrimiento, otros**
- **Prevención y mejoramiento mediante un diseño de mezcla, dosificación y concretos con propiedades especiales (Revisa y complementa RAP**
  - *Contenido de agua en las mezclas*
  - *Permeabilidad y Porosidad*
  - *Compatibilidad agregado/pasta de cemento*
  - *Concretos con propiedades especiales*

Contenido

CAPITULO 11

red prevenir

2

11. Prevención frente a riesgos de Incendios

ENSAYOS GENERALES
- **Introducción**
- **Tipos de Ensayos**
  - *Resistencia al Fuego*
- **Ensayos de Reacción al Fuego**

PREVENCIÓN Y COMBATE DE INCENDIOS EN EDIFICACIONES: DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y MANTENCIÓN DE SISTEMAS (SISTEMAS ACTIVOS Y PASIVOS)
- **Introducción**
- **Sistemas Activos**
- **Sistemas Pasivos**
  - *Diseño*
  - *Implementación*
  - *Mantención*
- **Métodos Prescriptivos vs Métodos por Desempeño en el diseño y funcionamiento de las instalaciones**

REFERENCIAS

Contenido

CAPITULO 11

red prevenir

3

INCENDIOS EN EDIFICACIONES: FENOMENOLOGÍA Y FACTORES INVOLUCRADOS

Contexto actual de los materiales y de la ingeniería contra incendios

El origen, propagación, desarrollo y consecuencias de un incendio son fenómenos de alta complejidad que involucran:
- Mecánica de fluidos
- Mecánica de sólidos
- Termodinámica
- Transferencia de calor
- Mecánica y composición de materiales
- Modelación matemática
- Ingeniería estructural
- Ingeniería de construcción
- entre otras

Prevención Frente a Riesgos de Incendios

red prevenir

11

4

INCENDIOS EN EDIFICACIONES: FENOMENOLOGÍA Y FACTORES INVOLUCRADOS

Contexto actual de los materiales y de la ingeniería contra incendios

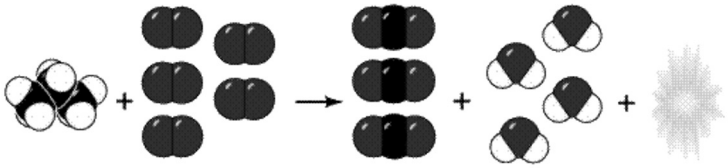
El conocimiento actual de fuego y el desarrollo de nuevos materiales en particular nuevos tipos de concreto permiten poner el desafío de contar con normas y especificaciones orientadas al desempeño.
Para ellos en indispensable comprender de dinámica del fuego y la microestructura del concreto.

5

Combustión de materiales y dinámica de incendio

Combustión de materiales

Ejemplo: combustión del propano



$C_3H_8 + 5\,O_2 \rightarrow 3\,CO_2 + 4\,H_2O +$ **Calor**

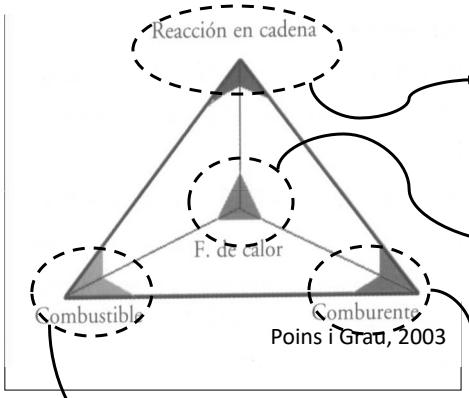
Propano **Oxígeno** **Dióxido de Carbono** **Agua**

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

6

Combustión de materiales y dinámica de incendio

Dinámica del Fuego: condiciones necesarias



Poins i Grau, 2003

Reacción de retroalimentación
- suficiente oxigeno
- suficiente calor
- suficientes gases inflamables

Fuente de calor para inflamar gases e iniciar reacción

O_2 para reacción

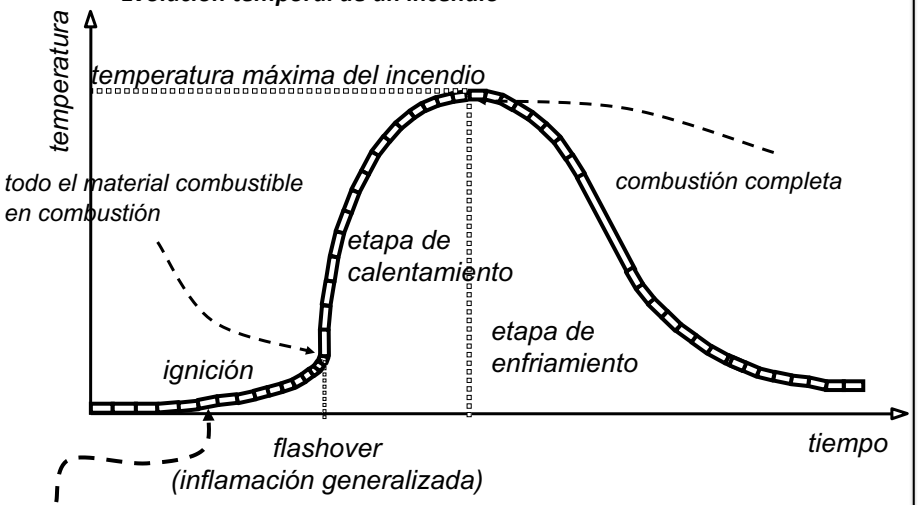
emisor de gases para reacción

Prevención Frente a Riesgos de Incendios

7

Combustión de materiales y dinámica de incendio

Evolución temporal de un incendio



Prevención Frente a Riesgos de Incendios

8

Combustión de materiales y dinámica de incendio

Evolución temporal de un incendio

http://francisco-godinez.blogspot.ca, 2012

9

Combustión de materiales y dinámica de incendio

Carga Combustible

Suma de toda la masa con potencial de entrar en combustión

$$C = C_{c1} \cdot m_1 + C_{c2} \cdot m2 + C_{c3} \cdot m_3 + \ldots$$

C : carga combustible

C_{ci} : calor de combustión del material i

m_i : masa del material i

Concentración de la masa carga combustible

$$D_c = \frac{C}{S}$$

D_c : densidad de carga combustible media

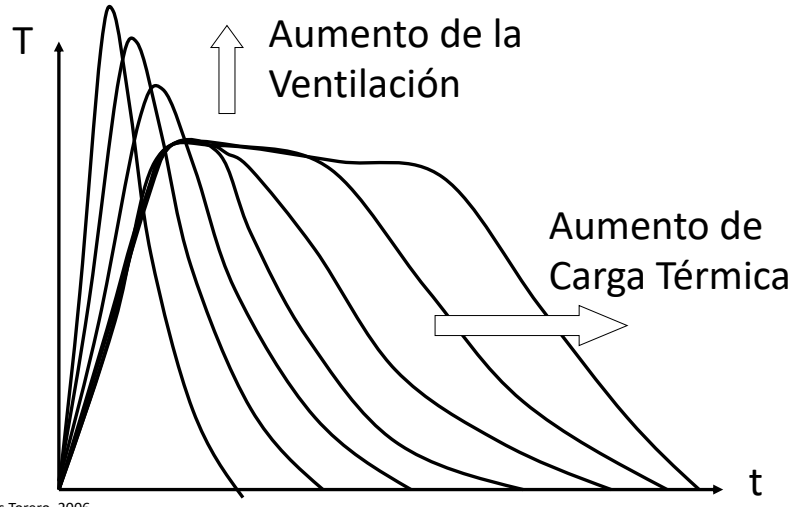
C : carga combustible

S : superficie de planta

10

Combustión de materiales y dinámica de incendio

Etapas de un incendio



José Luis Torero, 2006

Curvas Paramétricas

11

Combustión de materiales y dinámica de incendio

Transferencia de calor

Conducción: entre objetos en contacto por medio de sólidos

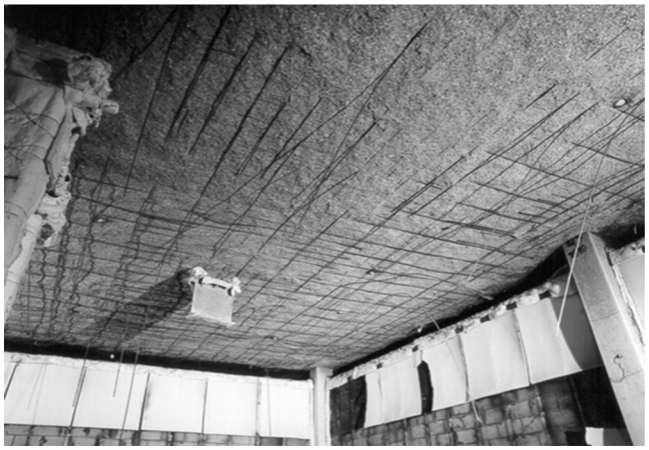
Convención: entre el objeto y el ambiente por medio de fluidos en movimiento (gases, líquidos)

Radiación: entre objetos por medio de emisión y absorción de ondas electromagnéticas

Roaster project, 2010

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:

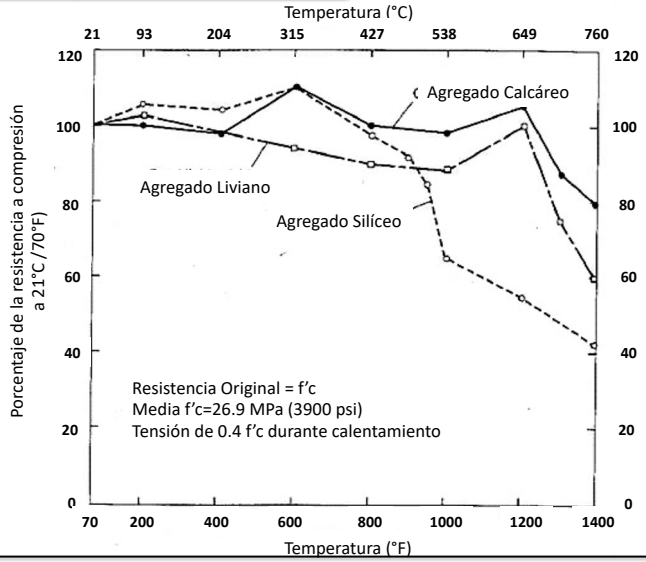
- Cambios físico – químicos en la pasta de cemento y el agregado;
- Incompatibilidad térmica entre agregado y pasta,

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

Cambio en las propiedades mecánicas del concreto sometido a altas temperaturas



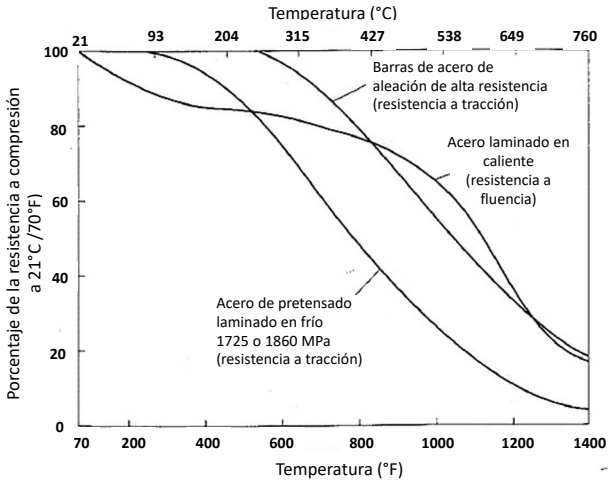
Prevención Frente a Riesgos de Incendios

red prevenir

11

15

Cambio en las propiedades mecánicas del acero de refuerzo sometido a altas temperaturas



Prevención Frente a Riesgos de Incendios

red prevenir

11

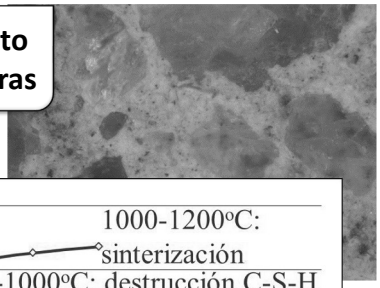
16

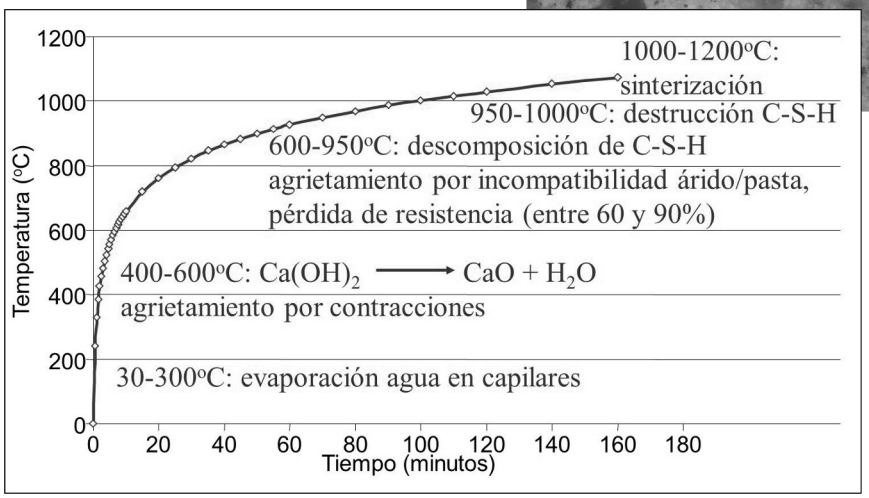
Fenómenos producidos en el concreto cuando se somete a altas temperaturas

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

17

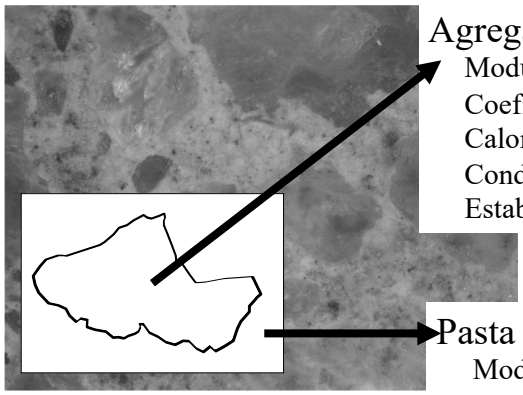
Fenómenos producidos en el concreto cuando se somete a altas temperaturas





18

Fenómenos producidos en el concreto cuando se somete a altas temperaturas



Agregado:

- Modulo elástico$_a$
- Coeficiente expansión térmica$_a$
- Calor especifico$_a$
- Conductividad térmica$_a$
- Estabilidad a altas temperaturas$_a$

Pasta de cemento:

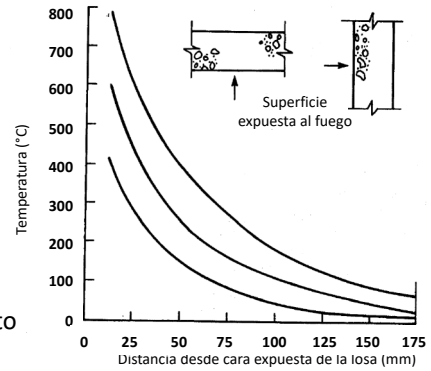
- Modulo elástico$_p$
- Coeficiente expansión térmica$_p$
- Calor especifico$_p$
- Conductividad térmica$_p$
- Estabilidad a altas temperaturas$_p$

19

Evaluación de estructuras de concreto afectadas por incendios

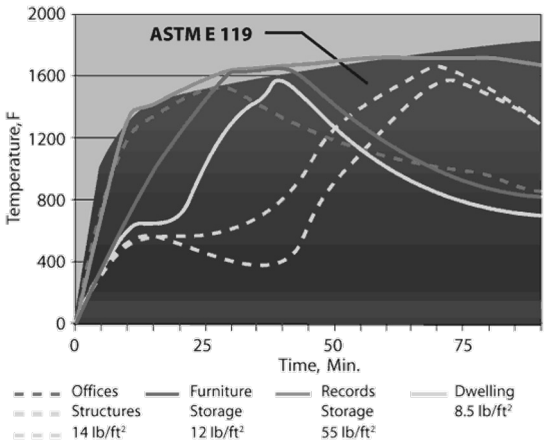
Se utilizan dos aproximaciones:

- 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



20

PREVENCIÓN Y MEJORAMIENTO DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO FRENTE AL FUEGO



StructureMag, 2012

21

Prevención

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.

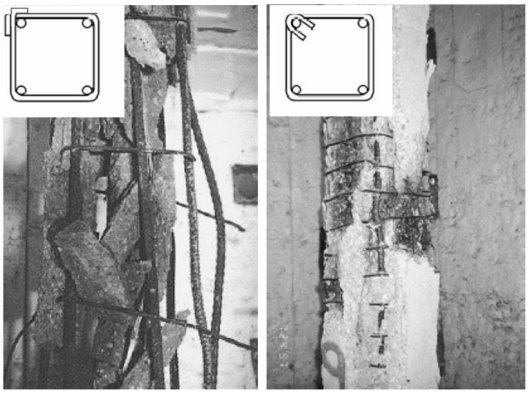
Los retardantes están destinados a hacer más lenta las etapas de ignición y propagación, permitiendo maximizar la eficacia de los sistemas de detección y mitigación. Por sí solos no necesariamente evitan que el incendio.

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

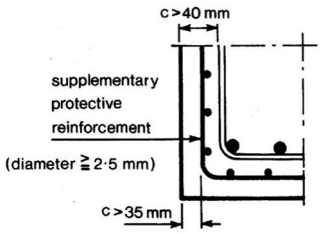
22

Sistemas pasivos: diseño estructural

Estribos para contener el concreto



Kodur, 2003

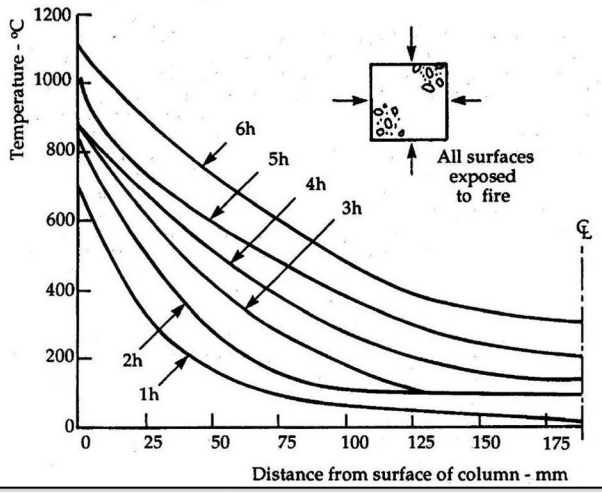


Bailey, 2005

23

Sistemas pasivos: diseño estructural

Recubrimientos para proteger el acero

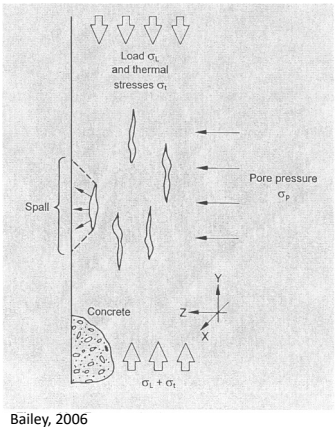


24

Sistemas pasivos

Se requiere de un concreto de desempeño adecuado

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



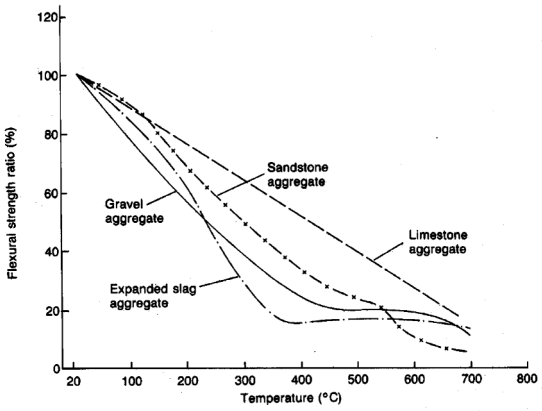
Bailey, 2006

25

Sistemas pasivos

Se requiere de un concreto de desempeño adecuado

- Compatibilidad dimensional agregado/pasta

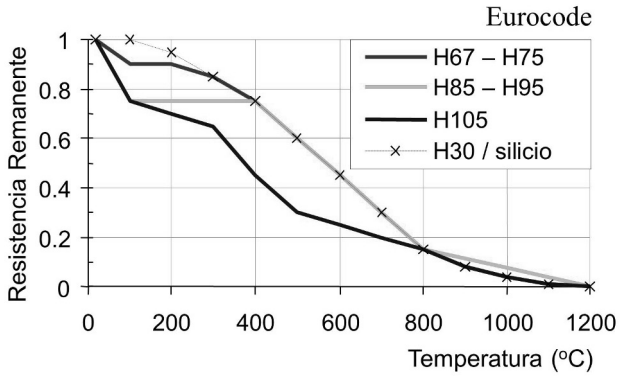


26

Sistemas pasivos

Se requiere de un concreto de desempeño adecuado

concreto de resistencia normal se desempeña mejor que el de alta resistencia

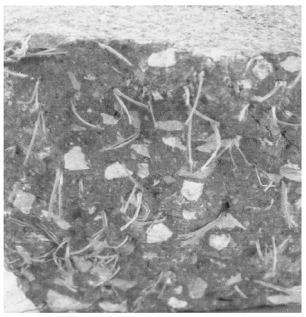


27

Sistemas pasivos

Se requiere de un concreto de desempeño adecuado

concreto liviano



Bailey, 2005

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

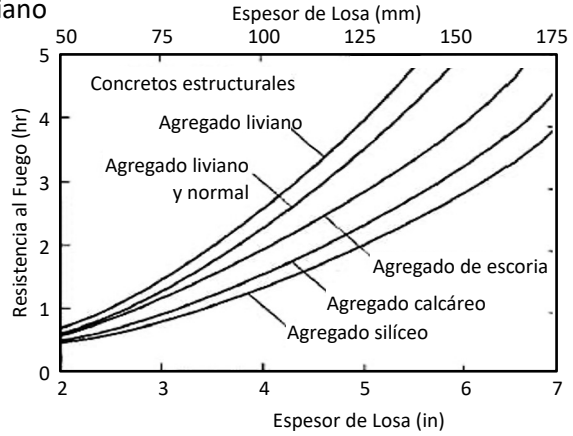
Fibras de acero: aumentan resistencia a tracción disminuyendo desconche

28

Sistemas pasivos

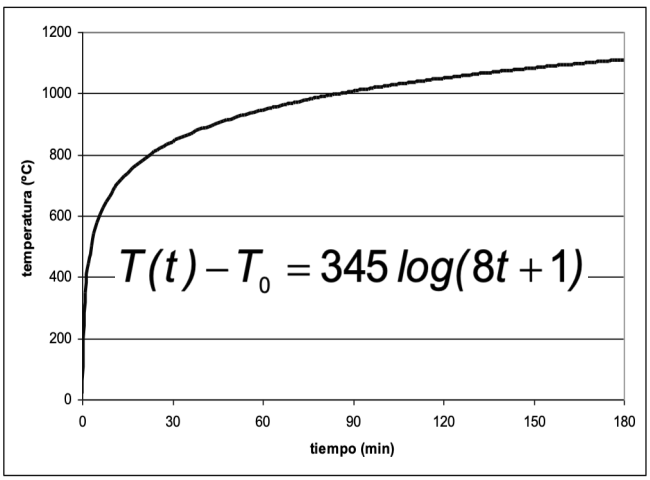
Se requiere de un concreto de desempeño adecuado

concreto liviano



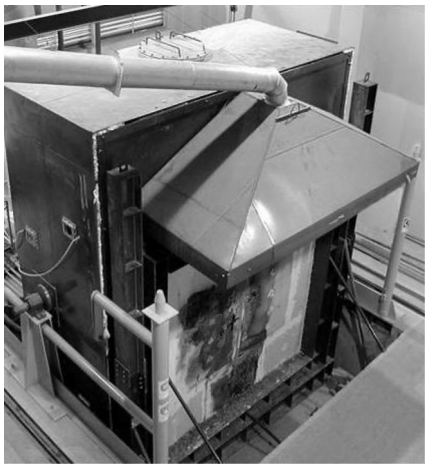
29

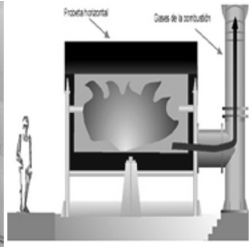
ENSAYOS GENERALES

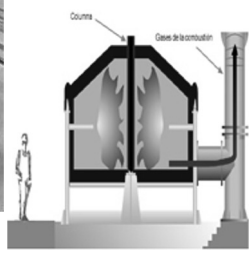


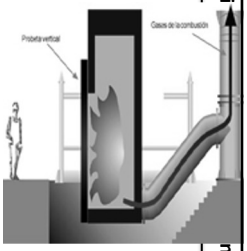
30

Resistencia al Fuego









Dictuc S.A. chile

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

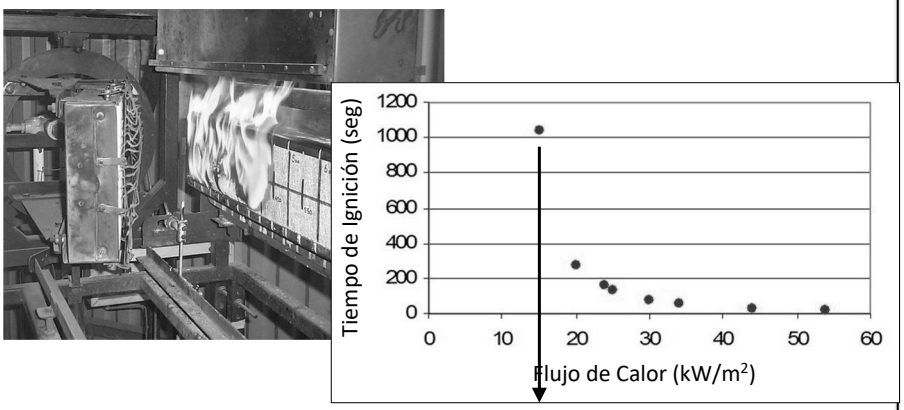
Resistencia al fuego	Espesor mínimo h_{min}(mm)	Distancia mínima equivalente al eje a_m (mm) [1]		
		Flexión en una dirección	Flexión en dos direcciones l_y/l_x [2] ≤ 1,5	$1,5 < l_y/l_x$ [2] ≤ 2
REI 30	60	10	10	10
REI 60	80	20	10	20
REI 90	100	25	15	25
REI 120	120	35	20	30
REI 180	150	50	30	40
REI 240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

32

Reacción al Fuego

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



Prevención Frente a Riesgos de Incendios

red prevenir

11

33

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

Prevención Frente a Riesgos de Incendios

red prevenir

11

34

Sistemas Pasivos

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).

35

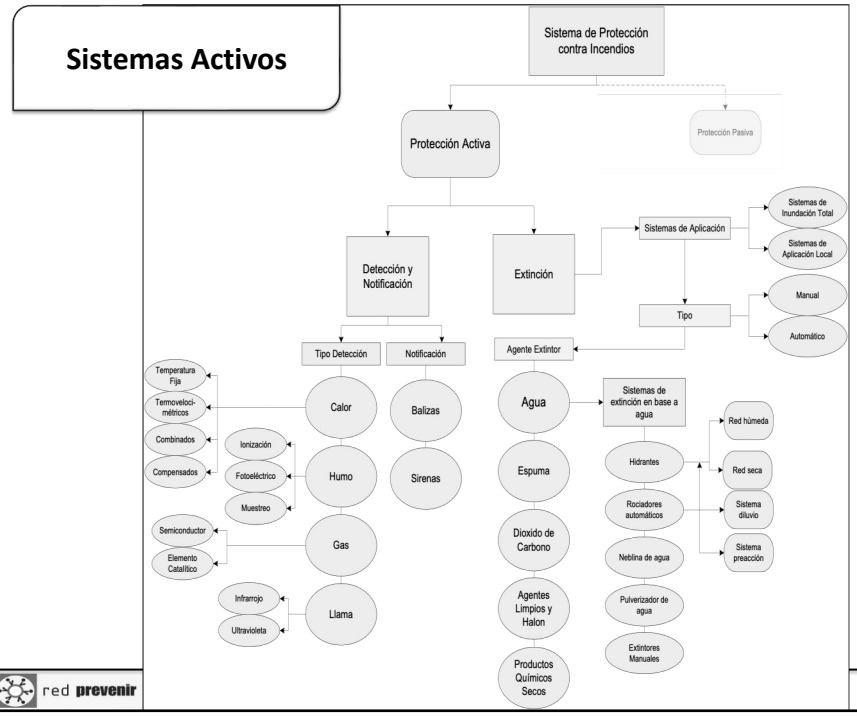
Sistemas Activos

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.

En base a esto, las instalaciones pueden contar con un *sistema de detección y notificación* que permita intervenir y ayudar en el combate de incendios, además de un *sistema de extinción* que ayude a controlar o extinguir el fuego.

36

Sistemas Activos



37

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 Martinez 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