

**idiem**<sup>®</sup>

Investigación, Desarrollo  
e Innovación de Estructuras  
y Materiales

**Seminario: Incendios - Una Oportunidad para  
innovar en infraestructuras en acero**

Universidad de Chile

# **DISEÑO ESTRUCTURAL CONTRA INCENDIOS BASADO EN EL DESEMPEÑO**

**31 de Mayo del 2017**

**DIEGO OLAVE ROJAS**

Ingeniero Civil Estructural, Universidad de Chile

Equipo de Ingeniería contra Incendios, IDIEM

Contacto: [diego.olave@idiem.cl](mailto:diego.olave@idiem.cl)

Fono: 29780762



**fcfm**

FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE

# Diseño contra incendios

Objetivos

```
graph TD; A[Objetivos] --- B[Diseño de vías de evacuación]; A --- C[Carga Combustible]; A --- D[Diseño de compartimentación]; A --- E[Extinción-Equipos de emergencia];
```

Diseño de  
vías de  
evacuación

Carga  
Combustible

Diseño de  
compartimentación

Extinción-  
Equipos de  
emergencia

# Finalidad de la protección estructural



Torre Santa María,  
1981.

Evacuación de las  
personas.

Permitir el trabajo de  
los grupos de extinción.

Disminuir el daño de la  
infraestructura.



Edificio Ex Diego Portales,  
2006

*Ingeniería*

Cada año, los incendios generan miles de millones de dólares en pérdidas a la economía mundial. Basta recordar lo sucedido en Chile durante el verano, cuando el fuego arrasó más de 600 mil hectáreas en la zona centro-sur del país, daños que fueron cuantificados por sobre los US\$ 400 millones. Este tipo de siniestros puede afectar a cualquier industria. Esto redundaría en que –según la Superintendencia de Valores y Seguros– dentro de las garantías con mayor participación en la prima directa a diciembre de 2016 estaban aquellas que cubren riesgos por incendios, ascendentes a \$265 mil millones, equivalentes al 10,9% del total, y el tercer seguro más demandado, tras el de vehículos motorizados y terremotos.

Elo obliga a que los ingenieros planifiquen y desarrollen soluciones contra incendios para el diseño, mantención y montaje de proyectos, artefactos y construcciones. Alfonso Larrain, vicepresidente ejecutivo de la Asociación de Ingenieros de Chile, señala que las principales causas de incendios son: negligencia, fricción, llama abierta, uso de fósforos, ignición espontánea, superficies calientes, mal

## Planificación es primordial para evitar riesgos

Ingeniería, innovación y capacitación es la triada con que se está trabajando en Chile para el control de incendios, evitando pérdidas millonarias. Sin embargo, falta mayor cumplimiento de la norma.

*Por Marcelo Romero G.*

claramente el problema que se requiere resolver, lo que permite no caer en medidas inútiles, exageradas o desenfocadas”.

Agrega que muchas veces las soluciones de seguridad contra incendios que se implementan son erróneas debido a que no se identifica conceptualmente el problema a resolver. Así, por ejemplo, se enfocan recursos en la protección estructural pasiva

cuando –en determinadas situaciones– el factor crítico del diseño es garantizar la evacuación de las personas.

La ingeniería es clave para determinar cuándo y cómo se requieren medidas de seguridad contra incendios, afirma Pérez.

Por lo tanto, precisa que en un mundo donde las tecnologías disponibles se actualizan rápidamente, por lo que “en

*Capacitación*

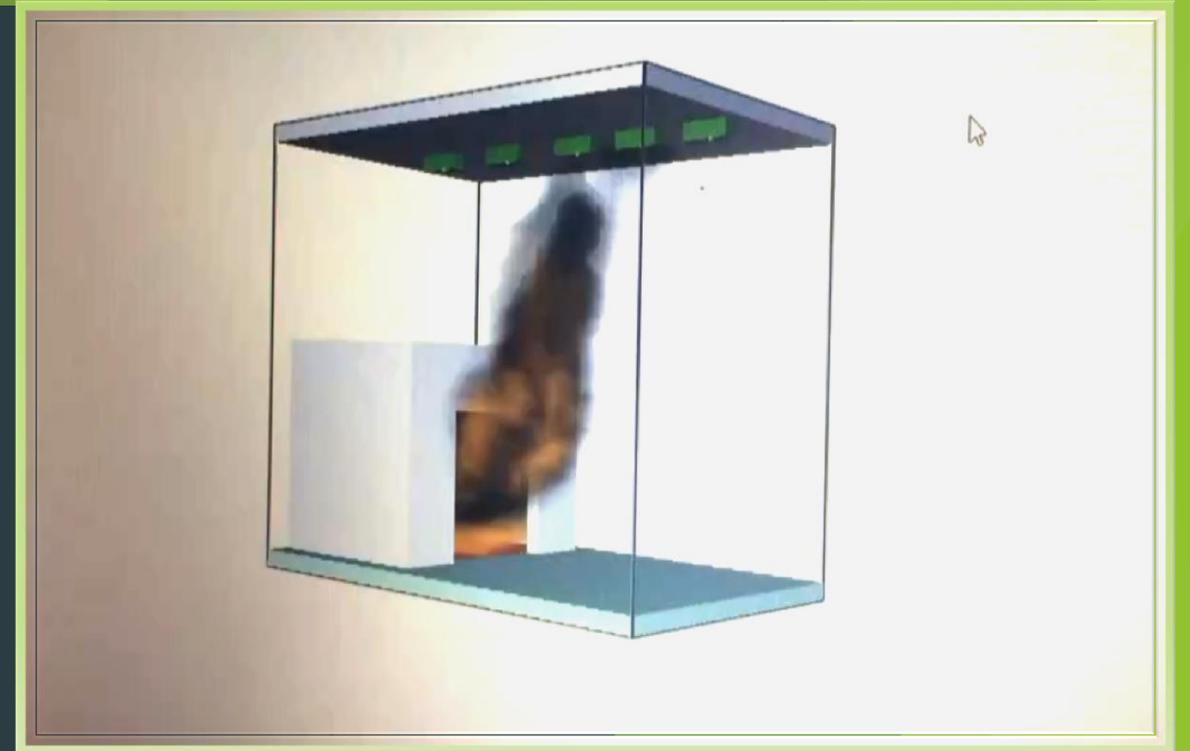
*Innovación*

**\$265**  
mil millones fue, a fines de 2016,  
el monto de los seguros que  
cubren riesgos por incendios.

Fuente: La Segunda, 2017.

# Resistencia al Fuego: Procedimiento

- ▶ Ensayos (Hornos)
- ▶ Asimilaciones (Listado del MINVU).
- ▶ Métodos de cálculo Avanzado.

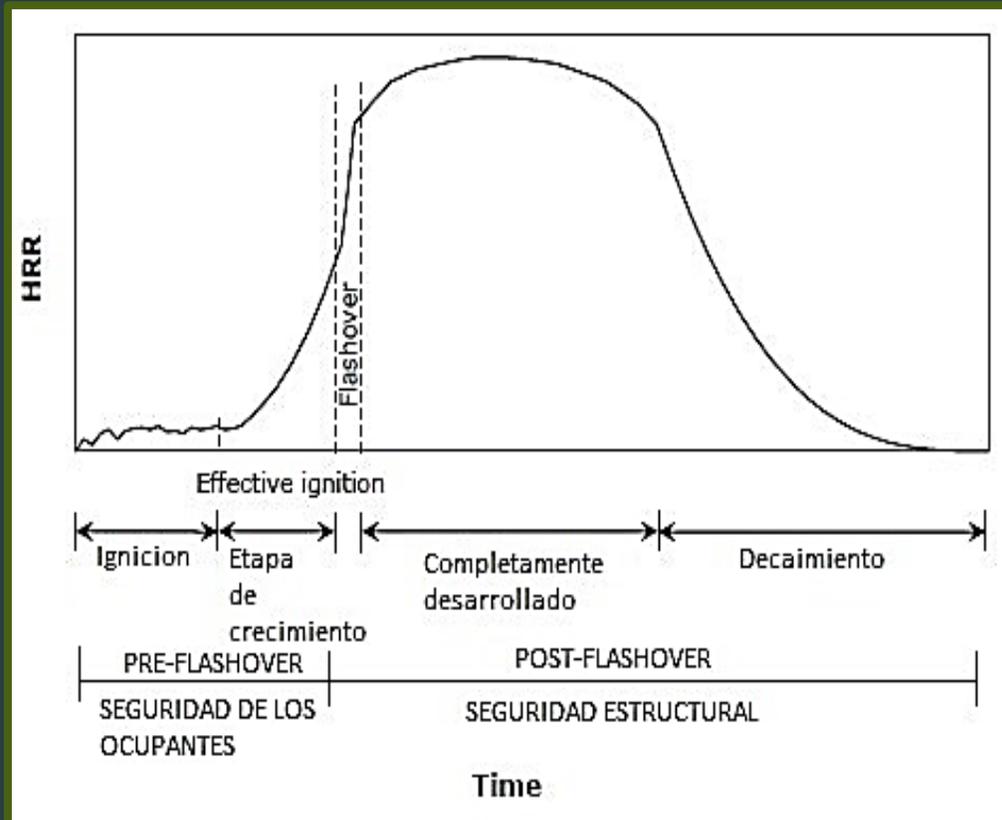


# Dinámica de un Incendio

## Tetraedro del Fuego



## Etapas



## Flashover

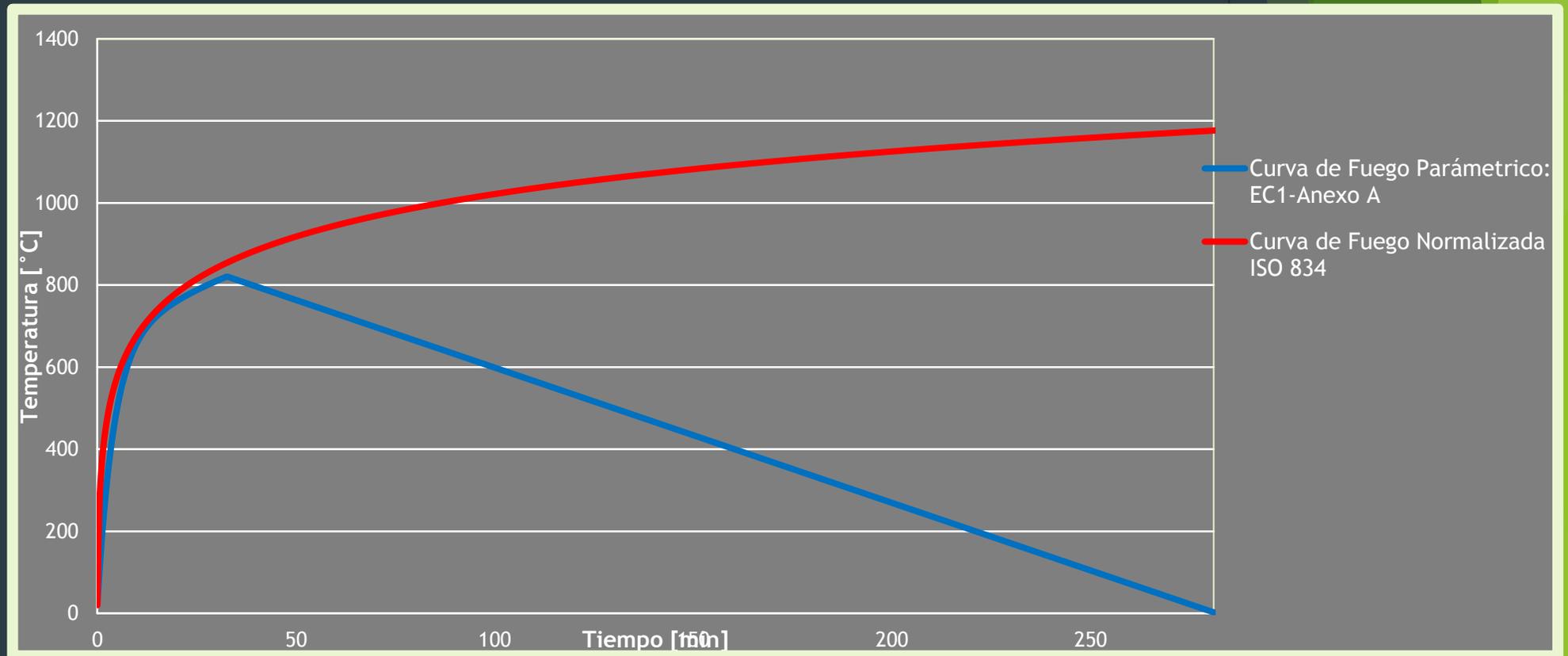
- a)  $\frac{\text{Ignicion}}{\text{Crecimiento}}$  } *Pre – Flashover*
- b) *Flashover*
- c)  $\frac{\text{Decaimiento}}{\text{Extincion}}$  } *Post – Flashover*

# Tipos de Incendio

Incendio controlado por

Combustible

Ventilación



# Acero Estructural

## Ventajas

- ▶ Menor peso de las estructuras.
- ▶ Flexibilidad de las estructuras.
- ▶ Mayor rapidez en la construcción.
- ▶ Ductilidad: Deformaciones relativamente altas antes de la fractura.
- ▶ Mayor flexibilidad en el diseño arquitectónico.

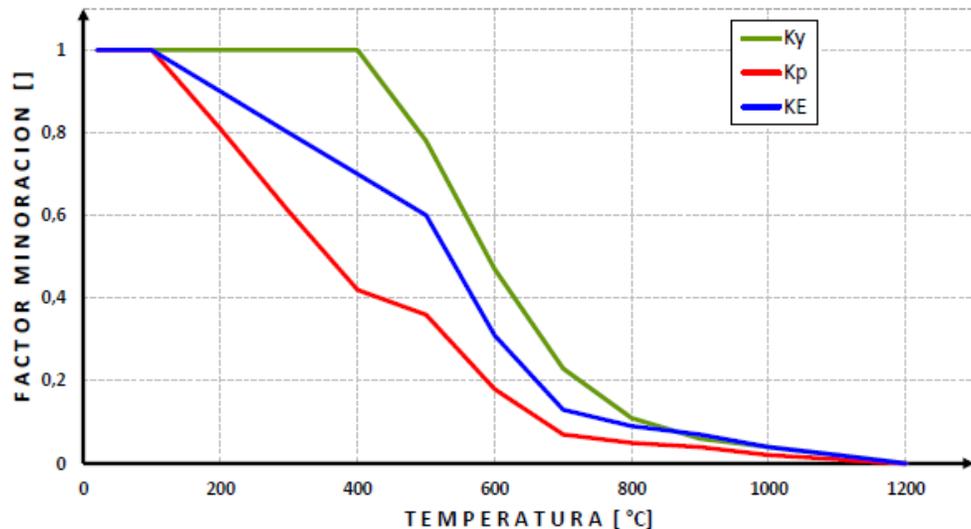
## Desventajas

- ▶ Reducción de las propiedades mecánicas a elevadas temperaturas: Fluencia- Módulo de Elasticidad-Límite de Proporcionalidad.

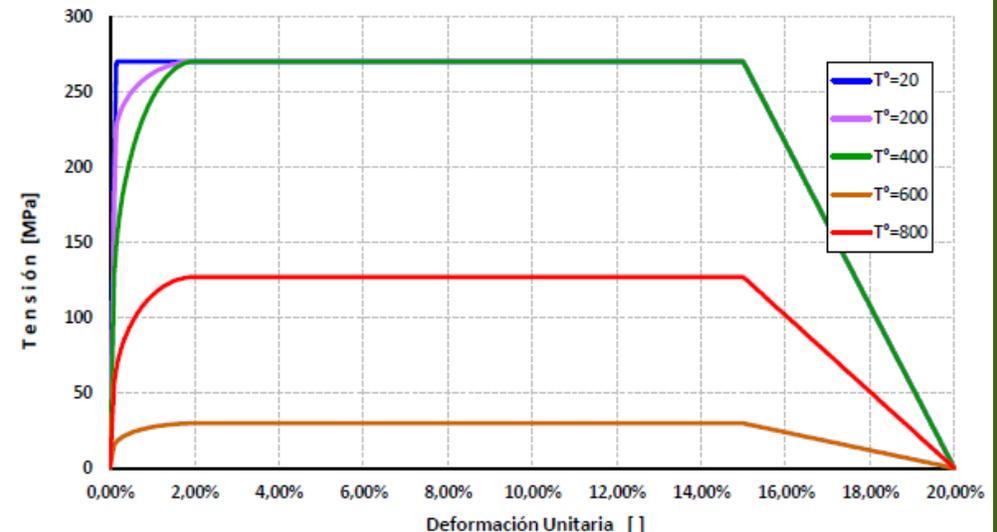
“La alta densidad del acero estructural permite al diseñador proporcionar secciones esbeltas en comparación con otros materiales como el hormigón, reduciendo de esta forma las cargas muertas asociadas al peso propio de la estructura”.

# Propiedades Mecánicas del acero en función de la Temperatura

Factores de reducción según EC4



Curva Tensión-deformación acero tipo A420-270ES



# Criterio de Resistencia al fuego según OGUC

*Destino del edificio de acuerdo a tabla 1,2,3 del capítulo 3 de las condiciones de seguridad contra incendio de la OGUC*

Tipo	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
a	F-180	F-120	F-120	F-120	F-120	F- 30	F- 60	F-120	F- 60
b	F-150	F-120	F- 90	F- 90	F- 90	F- 15	F- 30	F- 90	F- 30
c	F-120	F- 90	F- 60	F- 60	F- 60	-	F- 15	F- 60	F- 30
d	F-120	F- 60	F- 60	F- 60	F- 30	-	-	F- 30	F- 15

## **SIMBOLOGIA:**

Elementos verticales:

- (1) Muros cortafuego
- (2) Muros zona vertical de seguridad y caja de escalera
- (3) Muros caja ascensores
- (4) Muros divisorios entre unidades (hasta la cubierta)
- (5) Elementos soportantes verticales
- (6) Muros no soportantes y tabiques

Elementos verticales y horizontales:

- (7) Escaleras

Elementos horizontales:

- (8) Elementos soportantes horizontales
- (9) Techumbre incluido cielo falso

# Criterio de desempeño de los elementos constructivos según Nch 935/1

- ▶ Estanquidad.
- ▶ Emisión de gases inflamables.
- ▶ Aislamiento.
- ▶ **Estabilidad Mecánica: Capacidad de Soporte de Cargas para un elemento estructural.**

Para vigas y columnas de acero:

- ▶ La temperatura media debe ser inferior a 500 °C y la temperatura máxima en cualquier punto no exceda los 650 °C.

# Ingeniería Estructural contra incendios

## ***Dinámica de Incendios.***

*Tiene por objetivo la estimación del incendio probable que puede producirse en un recinto.*

## ***Análisis estructural***

*Tiene por objetivo determinar la temperatura crítica que puede alcanzar una estructura antes de colapsar.*

## ***Diseño del sistema de protección.***

*Proceso de transferencia de calor tendiente a definir un sistema que bien aisle o absorba calor tal de evitar que los elementos alcancen temperaturas cercanas a las de colapso.*

# Ingeniería Estructural contra incendios

EN  
CHILE

## ~~Dinámica de Incendios.~~

~~Tiene por objetivo la estimación del incendio probable que puede producirse en un recinto.~~

## ~~Análisis estructural~~

~~Tiene por objetivo determinar la temperatura crítica que puede alcanzar una estructura antes de colapsar.~~

INCENDIO ESTÁNDAR

T° crítica = 500°C

## ~~Diseño del sistema de protección.~~

~~Proceso de transferencia de calor tendiente a definir un sistema que bien aisle o absorba calor tal de evitar que los elementos alcancen temperaturas cercanas a las de colapso.~~

ENSAYO

# Análisis Estructural contra incendios basado en el desempeño

Reducción de las propiedades de resistencia

¿Solicitud <> Resistencia?  
¿T <> T crítica?

Resistencia al fuego exigida según OGUC.

Análisis Térmico del elemento

Combinaciones de carga en incendio (EC1-EC3)  
Diseño según LRFD  
Modos de Falla  
Deformaciones Térmicas

$$\theta_{a,cr} = 39,19 * \ln\left(\frac{1}{0,9674 * \mu_o^{3,833}} - 1\right) + 482$$

$$\mu_o = \frac{\textit{solicitaciones\_incendio}}{\textit{Resistencia a Ambiente}}$$

Tipo de Recinto  
Incendio tipo

# Análisis Térmico en 2-D

Trasferencia de calor:

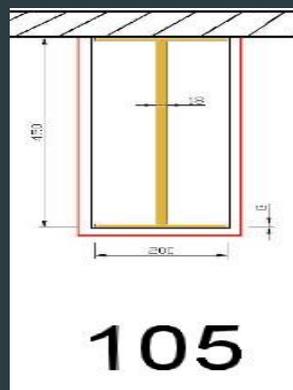
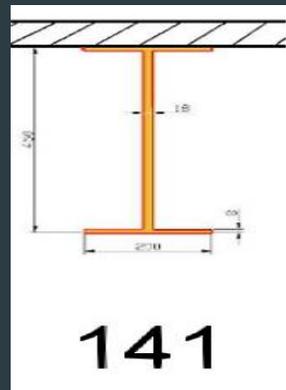
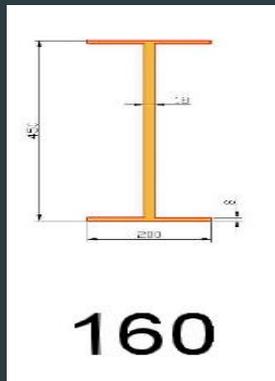
Convección  
Radiación  
Conducción

Perímetro expuesto al  
fuego

Masividad (3D)  
 $M=f(\text{Caras-Área expuesta al fuego, volumen del elemento que absorbe la energía liberada en el incendio})$

Tiempo de exposición a un incendio según OGUC

Ejemplo: Masividad de Viga IN 45X82,5



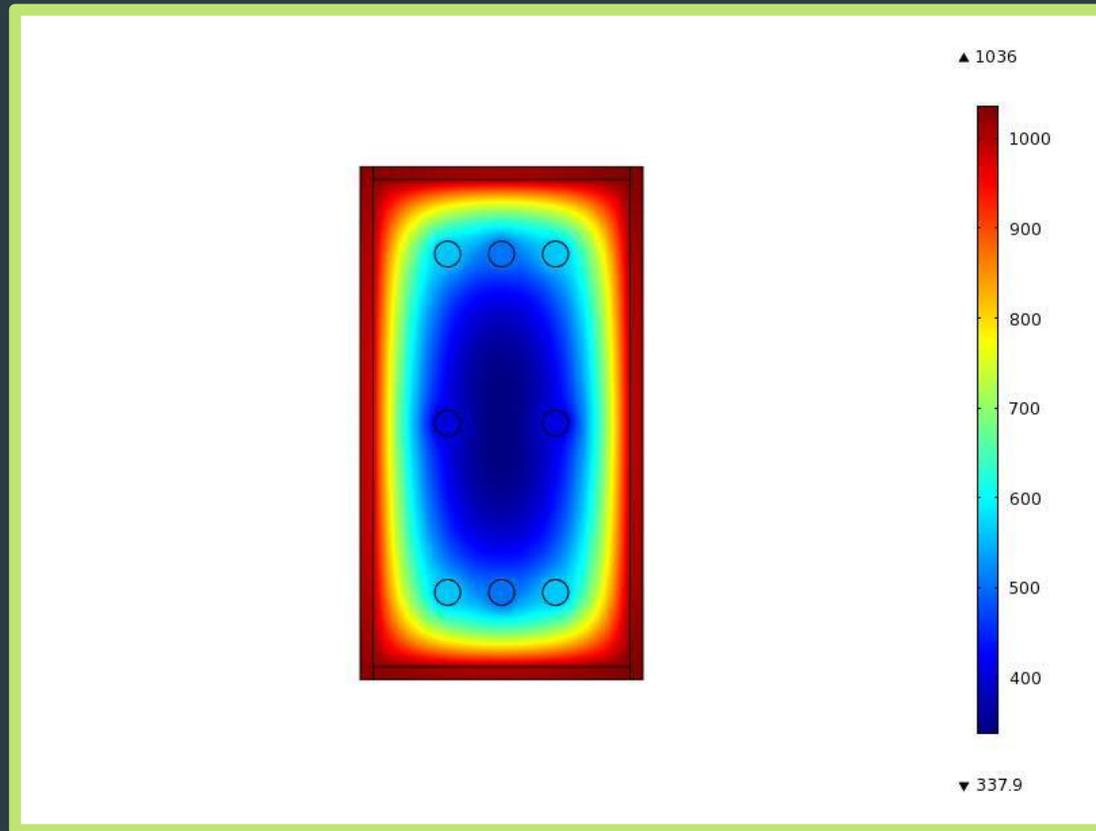
4 caras expuestas

3 caras expuestas

Encajonamiento

# Análisis Térmico 2-D: Ejemplo

Perfil compuesto RFC.  
Acero estructural de 10mm.  
Acero de refuerzo: 8phi18.  
Dimensiones: 220x400 mm.  
4 caras expuestas al fuego.



Temperatura en  
°C

Columna expuesta a un incendio durante 120 minutos.

# Análisis Estructural del Elemento

## Modos de Falla

- **Columnas : Flexo Compresión-Compresión Pura.**
- **Vigas: Flexión Plástica.**
- **Vigas Esbeltas: Pandeo Flexotorsional.**
- **Vigas cortas: Corte.**

## Conceptos

- **Fuerzas: Compresión-Tracción.**
- **Compatibilidad de Deformaciones.**
- **Análisis No lineal Elastoplástico.**

# Modos de Falla



# Combinaciones de carga en incendio: Método de Carga y Resistencia Última (LRFD)

- ▶ Depende del tipo de uso del recinto según EC3.
- ▶ Comparación con la combinación de carga establecida en Nch 2369-Nch 3171.
- ▶ Concepto de Ad: Acciones indirectas en la estructura producto de las deformaciones térmicas.

$$comb_{T\_ambiente} = 1,2 * DL + 1,6 * LL$$

1.4D  
 1.2D + 1.6L + 0.5(L<sub>r</sub> ó S ó R)  
 1.2D + 1.6(L<sub>r</sub> ó S ó R) + (0.5L ó 0.8W)  
 1.2D + 1.3W + 0.5L + 0.5(L<sub>r</sub> ó S ó R)

En edificios      1.4D + 1.4L ± 1.4E  
 En industrias    1.2D + a L<sub>c</sub> + L<sub>o</sub> + L<sub>a</sub> + 1.1 E<sub>h</sub> + 1.1 E<sub>v</sub>

En edificios      0.9D ± 1.4E ó 1.3W  
 En industrias    0.9D + L<sub>a</sub> ± 1.1E<sub>h</sub> ± 0.3E<sub>v</sub>  
 0.9D ± 1.3W

Combinaciones de carga, “Libro de Diseño de Estructuras de Acero” (ICHA).

$$comb_{incendio} = 1,0 * DL + "A_d" + \psi_{1,1} * LL$$

## 5 Reference standards

Where ENs are referred to, appropriate BS ENs should be used. The remaining supporting standards which should be used are listed in Table 4.

Table 2 — Combination factors for the fire situation

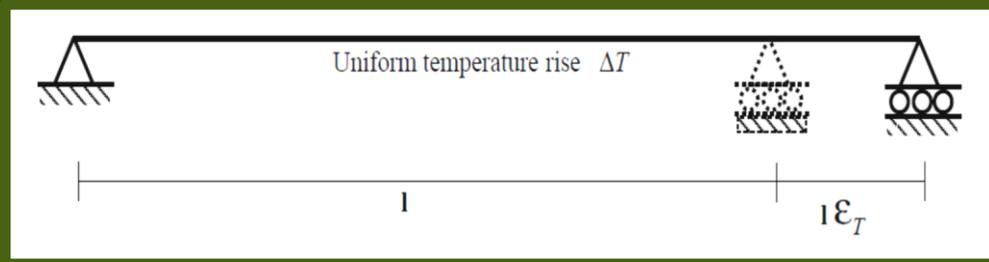
Action	$\psi_{1,1}$
Imposed floor loads in buildings:	
— storage;	0,9
— escape stairs and lobbies;	0,9
— all other areas.	0,7
Imposed roof loads (including snow loads)	0
Wind loads:	
— height to eaves up to 8 m;	0
— height to eaves greater than 8 m.	0,3

NOTE Plant load should be taken as a permanent load.

Combinaciones de carga en incendio, Eurocode 3, “Structural Fire Design”.

# Deformaciones Térmicas: Análisis Global de la estructura.

## ► Estructuras isostáticas



## ► Estructuras Hiperestáticas

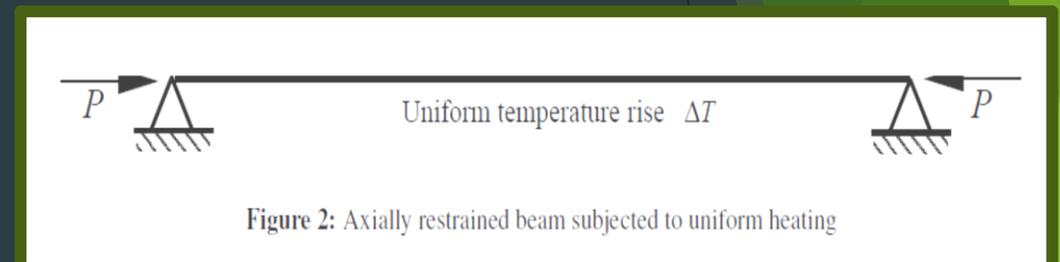
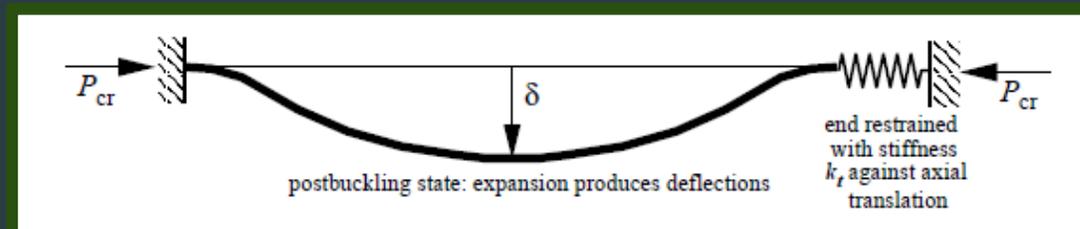
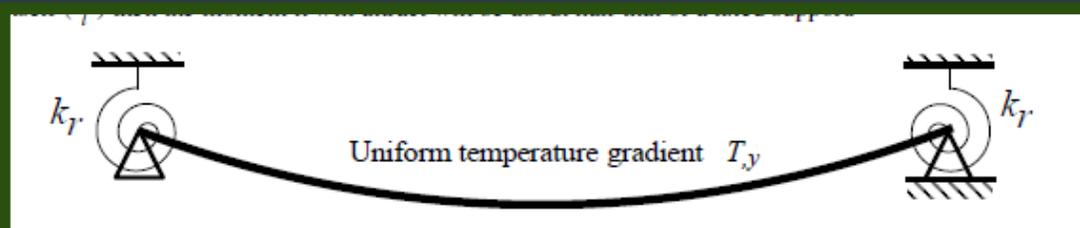


Figure 2: Axially restrained beam subjected to uniform heating

## ► Concepto de porcentaje de restricción: Relación viga-columna



$$\sigma = \frac{E\alpha\Delta T}{\left(1 + \frac{EA}{k_r L}\right)}$$



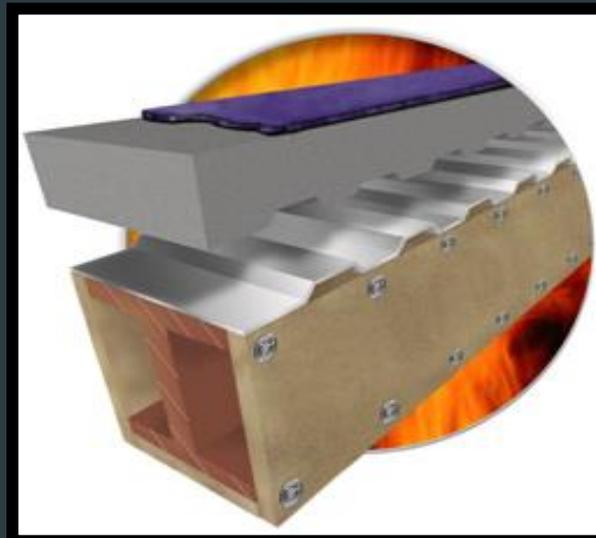
$$M_k = \frac{EI\alpha T_y}{\left(1 + \frac{2EI}{k_r l}\right)}$$

# Métodos de Protección

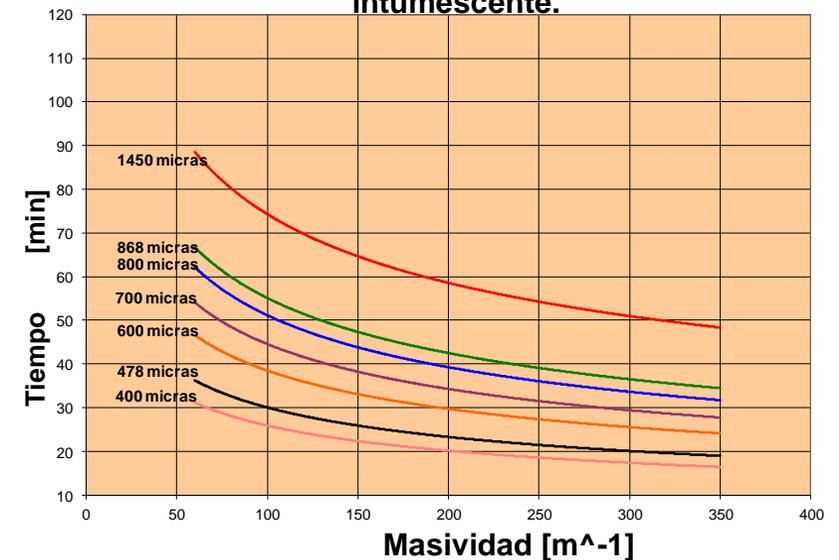
- ▶ Diseño, exponer parcialmente.
- ▶ Estuco con hormigón, Relleno con Hormigón
- ▶ Encajonamiento
- ▶ Proyección de Materiales Livianos (Baja y mediana densidad)
- ▶ Pintura Intumescente



Figure 38 Web infilled column.



Curvas de resistencia al fuego de una pintura intumescente.



# Consideraciones Finales

✓ Parametrización de los incendios: Datos de entrada son relevante en cualquier análisis de estimación de RF de un elemento constructivo ya sea mediante un método simple o avanzado.

✓ El Objetivo es similar al detalle del cálculo del espectro de diseño de la Nch 2369 que existe hoy en día para introducir los datos de aceleración del suelo en los modelos de análisis Modal Espectral de Estructuras Metálicas.

✓ Entender conceptos relacionados a la dinámica de los incendios como Heat Release Rate, Carga Combustible, Flashover, Masividad, etc.

✓ Diseños basados en el desempeño deben garantizar al igual que los diseños prescriptivos la estabilidad mecánica de la estructura.

✓ Diseños Seguros pero Eficientes basado en situaciones reales.

**idiem**<sup>®</sup>

Investigación, Desarrollo  
e Innovación de Estructuras  
y Materiales

**Seminario: Incendios - Una Oportunidad para  
innovar en infraestructuras en acero**

Universidad de Chile  
**DISEÑO ESTRUCTURAL CONTRA  
INCENDIOS  
BASADO EN EL DESEMPEÑO**

**31 de Mayo del 2017**

**DIEGO OLAVE ROJAS**

Ingeniero Civil Estructural, Universidad de Chile

Equipo de Ingeniería contra Incendios, IDIEM

Contacto: [diego.olave@idiem.cl](mailto:diego.olave@idiem.cl)

Fono: 29780762



**fcfm**

FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE