



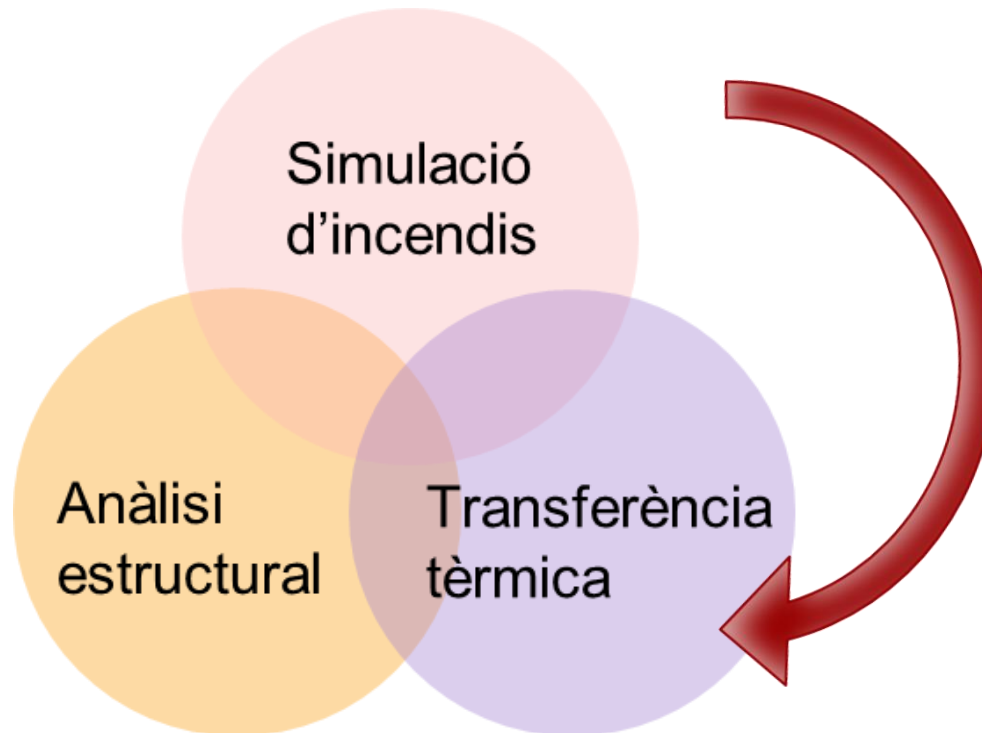
Càlculs prestacionals

Carlos Muñoz Blanc, Doctor Arquitecte

Barcelona, a 14 de gener de 2016

Càlculs prestacionals

- **Dictaminar, a partir d'uns objectius prèviament establerts, sobre el comportament real de les estructures davant l'acció del foc:**
 - Simulació REAL dels incendis
 - Avaluació de la Transferència de Calor sobre els materials estructurals
 - Anàlisi tèrmic-mecànica de l'estructura



Mètodes d'anàlisi

I. Mètodes prescriptius

- Resistència al foc exigida a l'estructura. Mètode basat en prescripcions normatives (ús i altura d'evacuació)
- Es basen en l'adopció d'una corba normalitzada Temperatura-temps, on la Temperatura (T) s'incrementa de manera indefinida. No reproduïx les característiques reals d'un incendi.

II. Mètode del temps equivalent d'exposició al foc

- Mètode simplificat per l'anàlisi d'estructures d'acer i formigó
- Temps equivalent d'exposició al foc normalitzat.
- Objectiu: Mesurar la severitat dels incendis reals

III. Estudis avançats de foc REAL

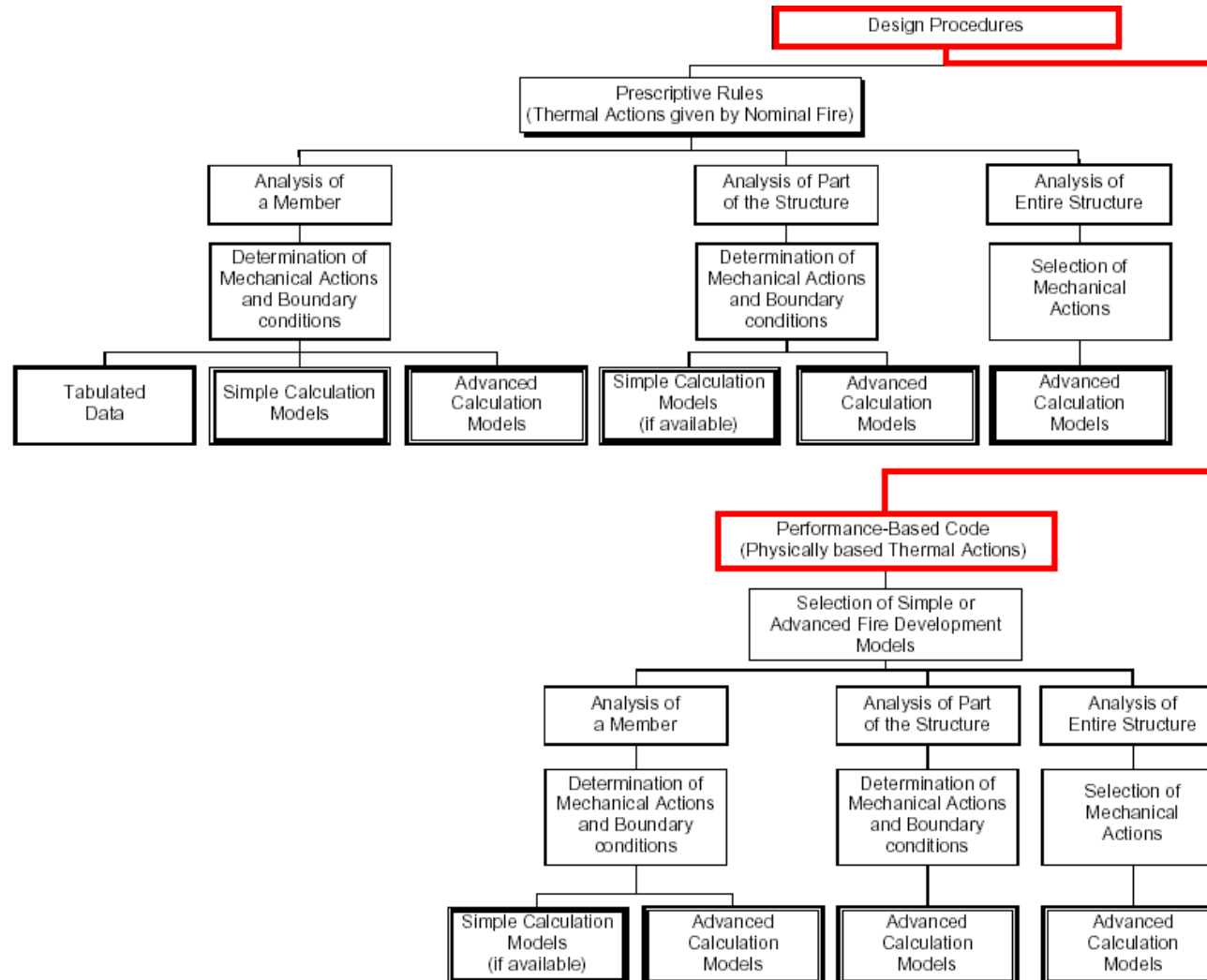
- Lleis Temperatura-temps basades en "focs reals analítics"
- Models simplificats
 - Corbes paramètriques
 - Focs localitzats
- Models informàtics avançats
 - Models d'una zona
 - Models de dues zones
 - Models basats en la Dinàmica Computacional de Fluids (C.F.D.), la Termodinàmica i la combustió dels materials

**CÀLCULS
PRESTACIONALS**



Mètodes d'anàlisi

EC 1991-1-2 Eurocode 1: Part 1-2: Actions on structures exposed to fire



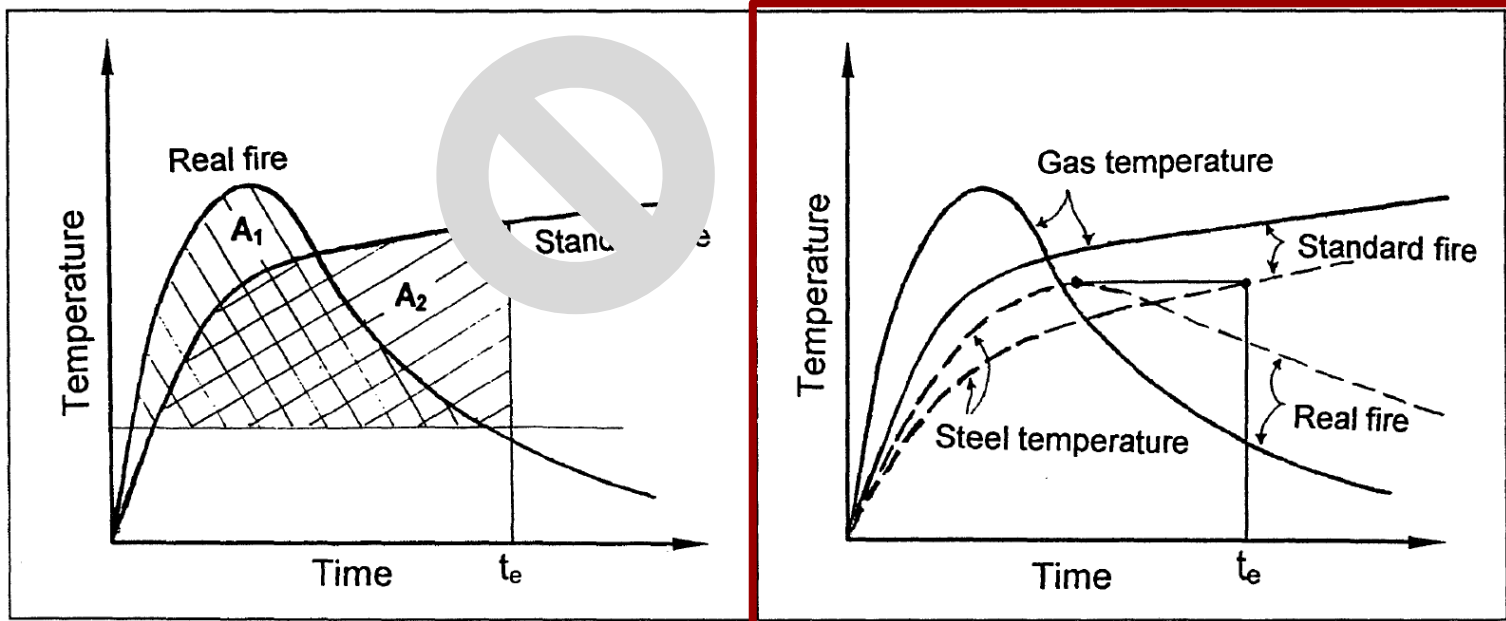
Procediment d'anàlisi

- I. Establir de manera probabilística els **riscos reals** es poden produir en un edifici
- II. Associar uns **escenaris d'incendi** accidentals als riscos més desfavorables
- III. Fent ús de mètodes avançats de càlcul obtenir les **lleis Temperatura-temps reals** que es produiran als gasos calents que envolten l'estructura
- IV. Fent ús dels models matemàtics que consideren la **transmissió de calor** dictaminar sobre les temperatures a les que sotmetrem els materials estructurals en funció del temps
- V. Anàlisi estructural amb **models tèrmic-mecànics**, considerant les no linealitats del material a elevades temperatures i els esforços tèrmics que es produeixen durant l'incendi
- VI. Determinar les **mesures actives i passives de protecció** per a garantir la seguretat dels ocupants durant tot el desenvolupament de l'incendi



El mètode del temps equivalent

- Es calcula el temps equivalent respecte de la corba normalitzada a la que s'assolirà la temperatura màxima a l'acer durant un incendi real
- Primers estudis originaris de Ingberg (1928): Mètode d'àrees equivalents
- Mètode actual derivat dels estudis de Law (1971) i Pettersson et al. (1976)
- Supervivència indefinida de l'estructura durant tot l'incendi real



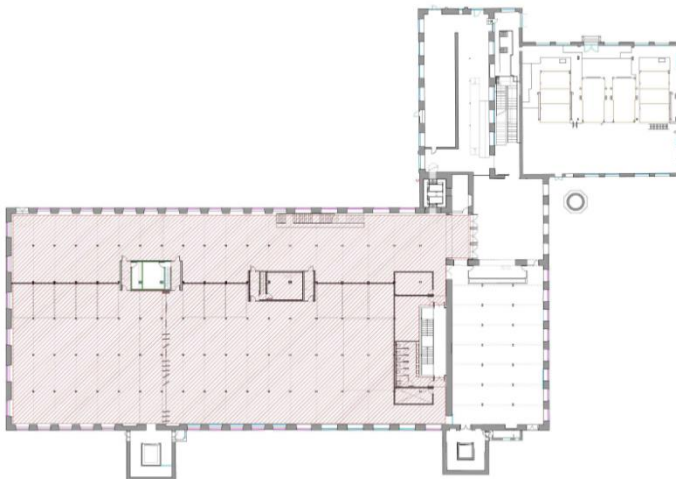
És d'aplicació en **edificis singulars**

Només es pot aplicar a estructures d'acer i de formigó

(No es aplicable a estructures mixtes ni de fusta)

El mètode del temps equivalent

- Aplicació del mètode al recinte fabril de Fabra i Coats, a Barcelona (2009).
- Segons els mètodes prescriptius:
R-120
- Estructura catalogada, era necessari mantenir l'aspecte original de l'edifici.



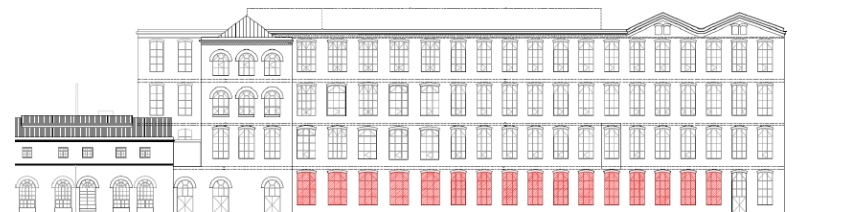
FAÇANA SUD

SUP. 157.8m²



FAÇANA OEST

SUP. 57.2m²



NA NORD

SUP. 157.4m²



El mètode del temps equivalent

CALCULO TIEMPO EQUIVALENTE

NOTAS:SECTOR-1, todo el sector abierto, con la consideración 100% ventanas se rompen, y sin mejoras voluntarias

qfk	Af	q1	q2	Qn	m	SEG
365	2457	1.9	1.25	1	0.8	2.25

altura	Kc	Kb
5.9	1	0.055

Av	Alfa-v	Wf
372.4	0.152	0.97

Qf,d
693.5

Tfi, req
83

superficie sector	q1
<20	1
25	1.1
250	1.5
2500	1.9
5000	2
>10000	2.13

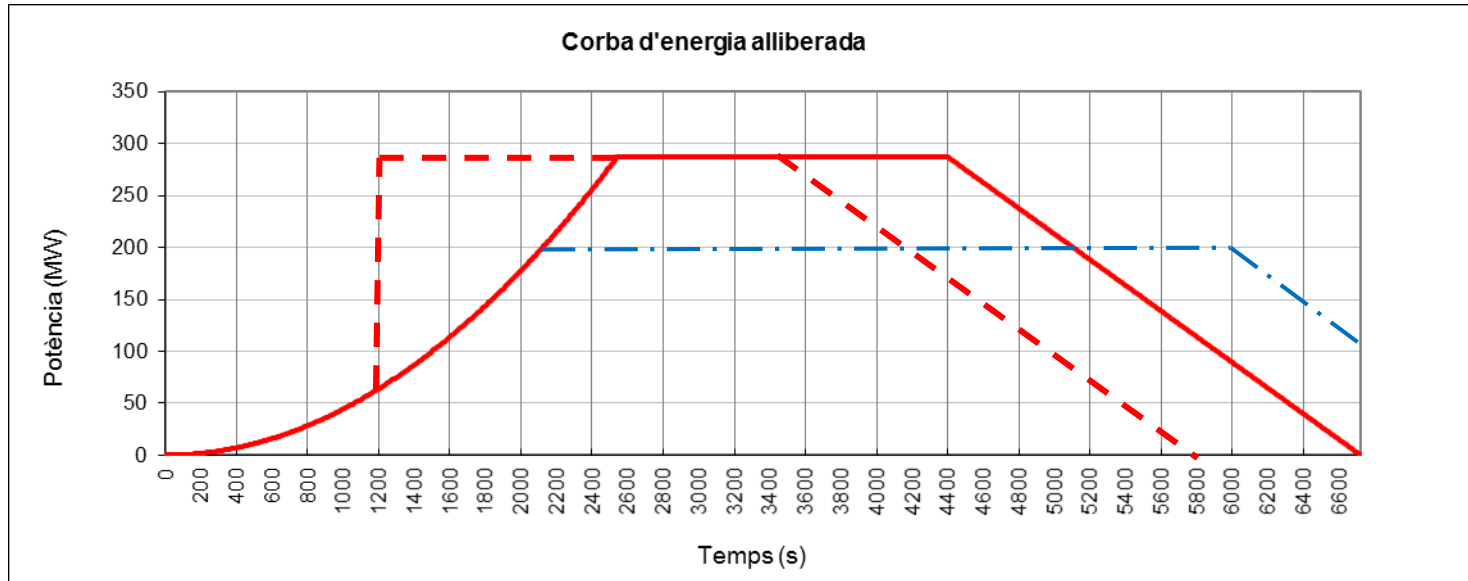
q2	ACTIVIDAD
1	Vivienda, Administrativo, Residencial, Docente
1.25	Comercial, Garaje, Hospitalario, Pública concurrencia
1.25	Riesgo especial bajo
1.4	Riesgo especial medio
1.6	Riesgo especial Alto

DANOS PREVISIBLES		
CASOS	AB	C
1	1	1.5
2	1.5	2.25
3	2	3



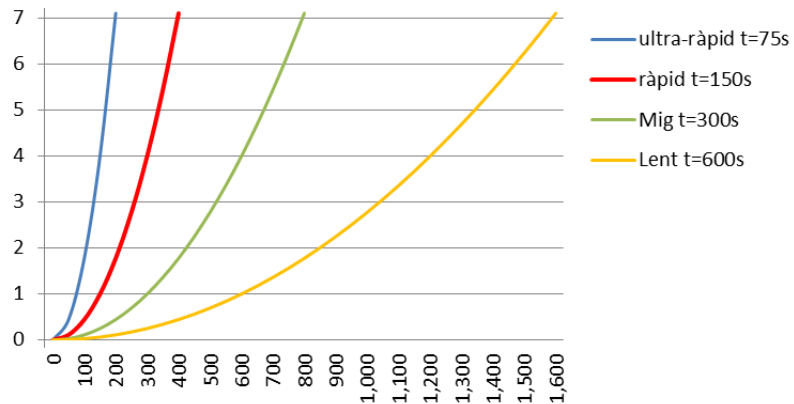
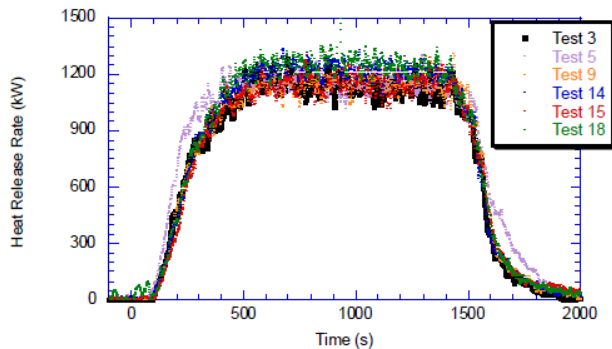
$$T_{e,d} = 693.5 \cdot 0.97 \cdot 0.055 \cdot 1 = 37.0 \text{ Minuts} \quad T_{fi,requ} = 37.0 \times 2.25 = 83 \text{ minuts}$$

Estudis avançats de Foc Real



— Control pel combustible
 - . - . Control per la ventilació
 - - - Flashover

$$Q = 10^6 \left(\frac{t}{t_\alpha} \right)^2 \quad Q_{\max} = RHR_f A_{fi} [kW] \quad RHR_f = \left(\frac{t}{t_\alpha} \right)^2$$



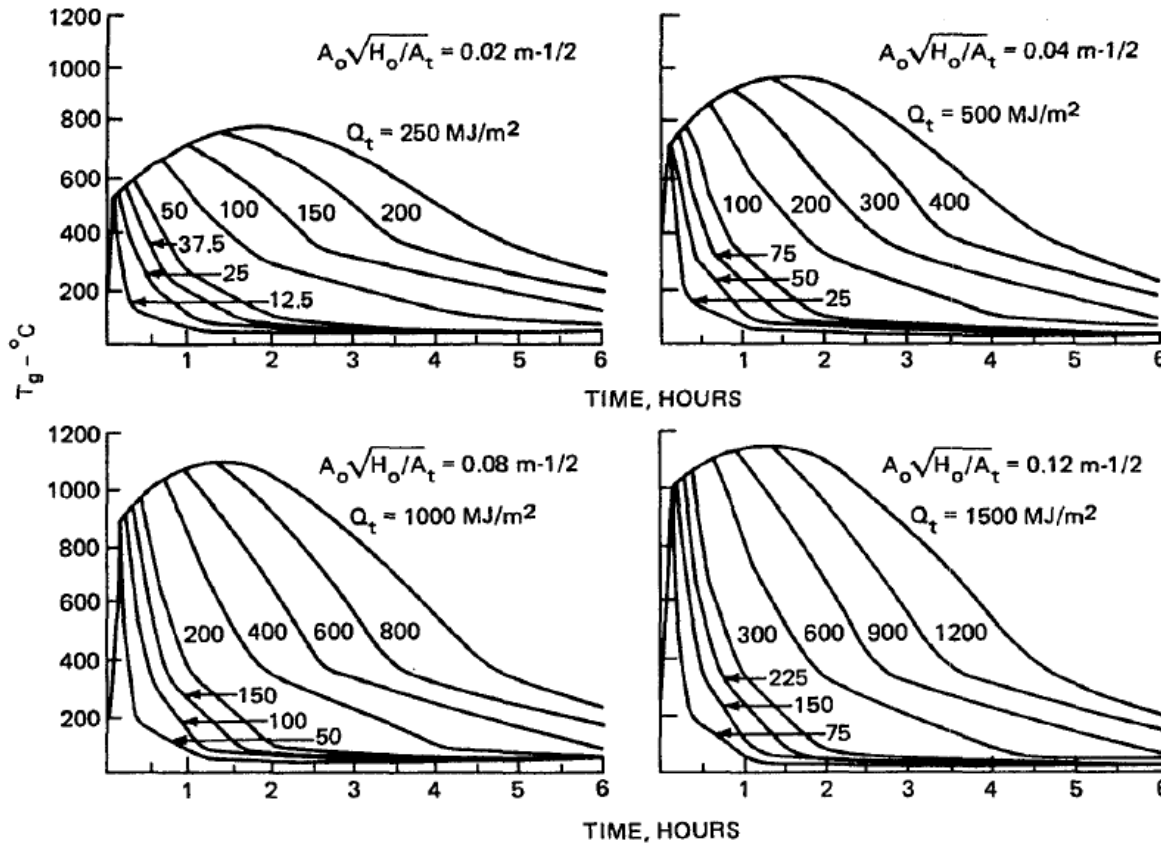
Combustible
 Ventilació de l'escenari
 Tipus de tancaments
 Mesures d'extinció



Estudis avançats de Foc Real

Definició gràfica de "focs reals analítics"

- Estudis teòrics portats a terme per Magnusson i Thelandersson (1970)
- Corbes de "focs reals analítics" que tenen en compte la ventilació i la càrrega de foc total



- Corbes desenvolupades de manera teòrica a partir de 4 grups d'assajos portats a terme per Pettersson, Kawagoe, Sjölin i Ödeen.
- Caracteritza l'incendi post-flashover
- Són vàlides amb combustibles d'origen cel·lulòsic. Tots els assajos es van portar a terme amb fusta com a combustible



Estudis avançats de Foc Real

Corbes paramètriques

Teoria desenvolupada per Wickström (1981/82) i contrastada amb les corbes de “foc real” de Magnusson & Thelandersson.

Objectiu:

- Corbes fictícies per a determinar les màximes temperatures assolides pels elements estructurals
- No busquen reproduir les temperatures reals d'un escenari d'incendi

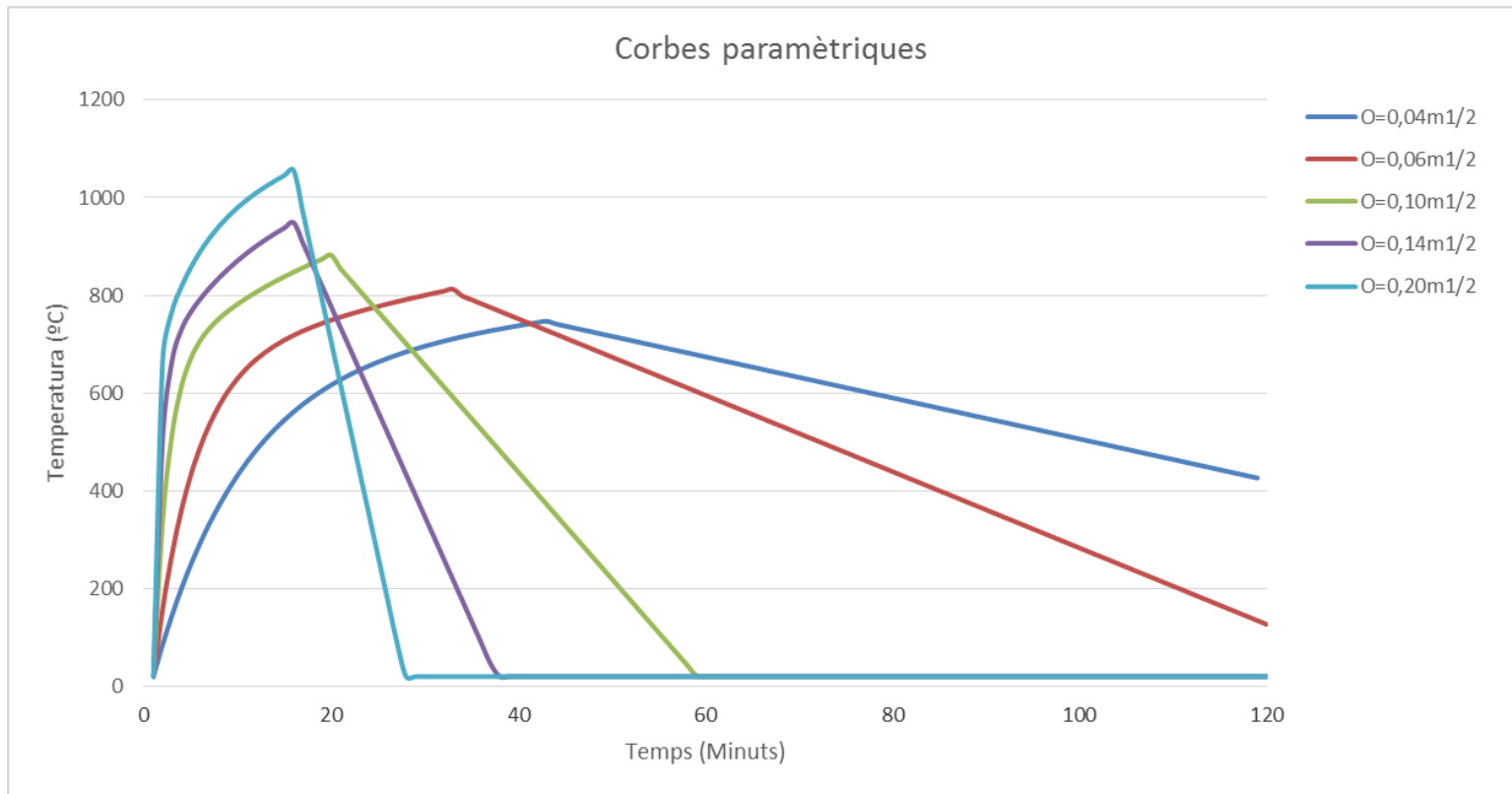
Vàlides a:

- Sectors d'incendi inferiors a 500m²
- Sense obertures en coberta
- Altura inferior a 4 metres
- Se suposa la combustió completa de la càrrega de foc, de caràcter cel·lulòsic
- Focs controlats pel combustible i per la ventilació



Estudis avançats de Foc Real

Corbes paramètriques

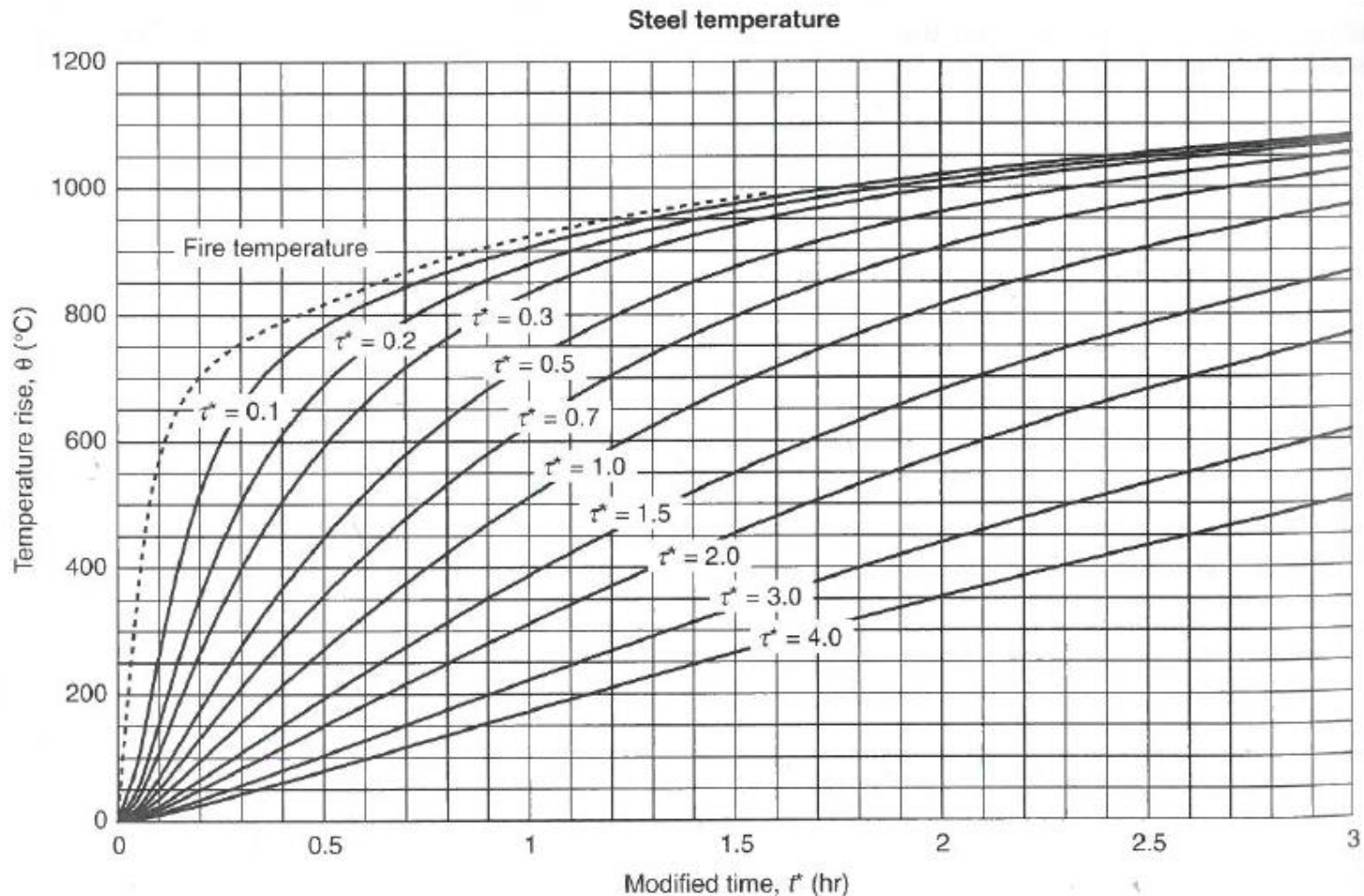


Exemple de corbes paramètriques en funció de la ventilació de l'escenari per a una càrrega de foc de 500MJ/m², amb un foc de 500m² en un espai de 25x20x4m³



Estudis avançats de Foc Real

Corbes paramètriques

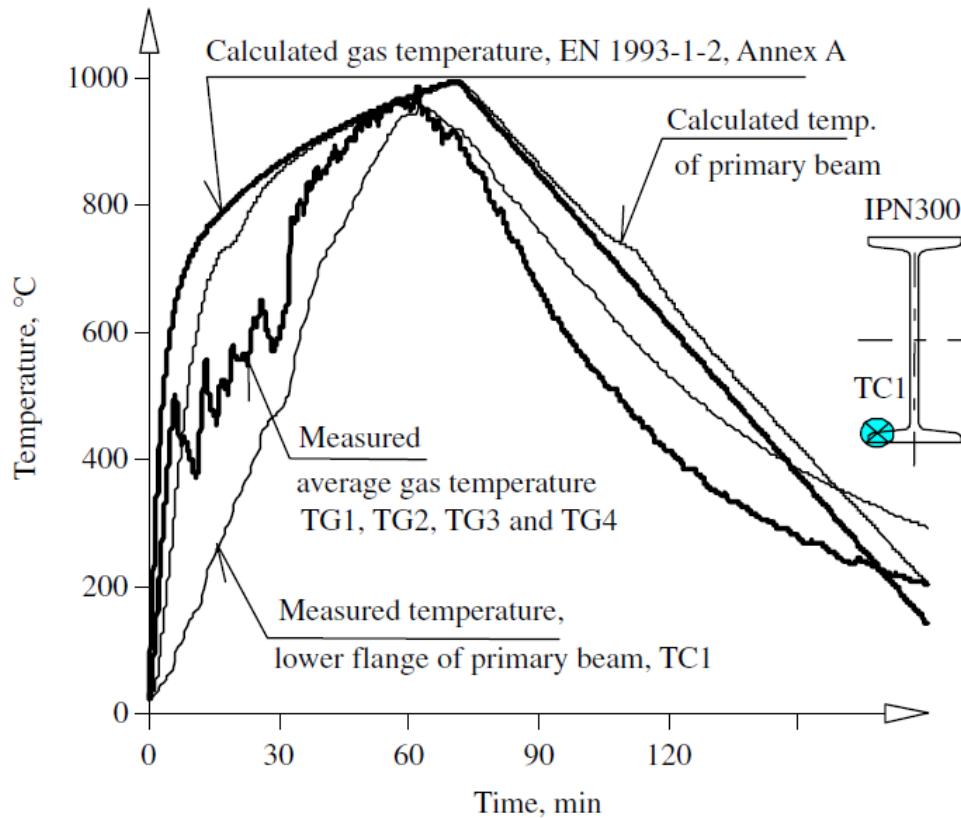


Temperatura de diverses seccions protegides d'acer exposades a focs paramètrics en fase creixent, en funció del temps modificat. Les propietats tèrmiques de les seccions d'acer estan expressades en funció del temps de resposta característic modificat.



Estudis avançats de Foc Real

Corbes paramètriques



Exemple de la concordança entre les temperatures obtingudes en assajos d'incendi en estructures (NIST) i les corbes paramètriques d'incendi.

S'observa la similitud dels resultats obtinguts amb les corbes.

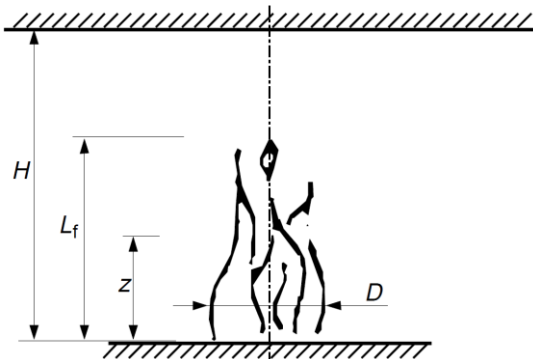
Vàlid sempre que es mantinguin les hipòtesis de partida, en escenaris simples.



Estudis avançats de Foc Real

Models simplificats de foc localitzat

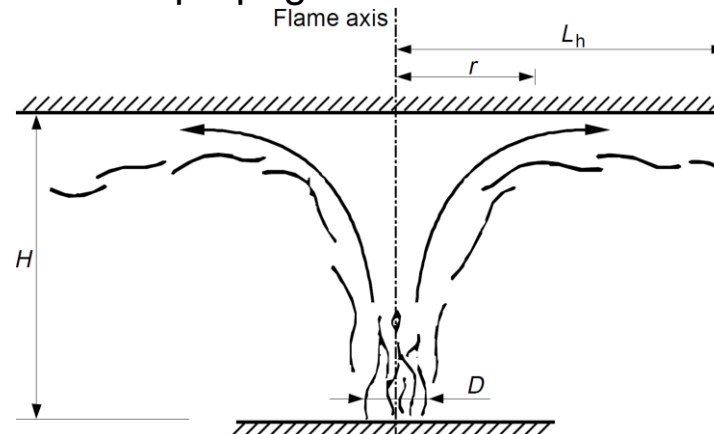
- Determinen la temperatura dels gasos calents al plomall del foc i l'abast de la flama a partir de la potència alliberada
- Dos mètodes inclosos a l'Eurocodi EC 1991-1-2 (annex C), en funció de l'abast de la flama:
 - Heskestad: La flama no arriba al sostre
 - Hasemi: La flama arriba al sostre i es propaga horitzontalment



Heskestad

$$L_f = -1,02 D + 0,0148 Q^{2/5}$$

$$\Theta_{(z)} = 20 + 0,25 Q_c^{2/3} (z - z_0)^{-5/3} \leq 900$$



Hasemi

$$L_h = (2,9 H (Q_H^*)^{0,33}) - H$$

$$\dot{h}_{net} = \dot{h} - \alpha_c \cdot (\Theta_m - 20) - \Phi \cdot \varepsilon_m \cdot \varepsilon_f \cdot \sigma \cdot [(\Theta_m + 273)^4 - (293)^4]$$



Estudis avançats de Foc Real

Models simplificats de foc localitzat

Són mètodes molt fàcilment programables, inclús amb senzilles taules de càlcul.

Aquests mètodes tenen molt bona precisió, amb les següents limitacions:

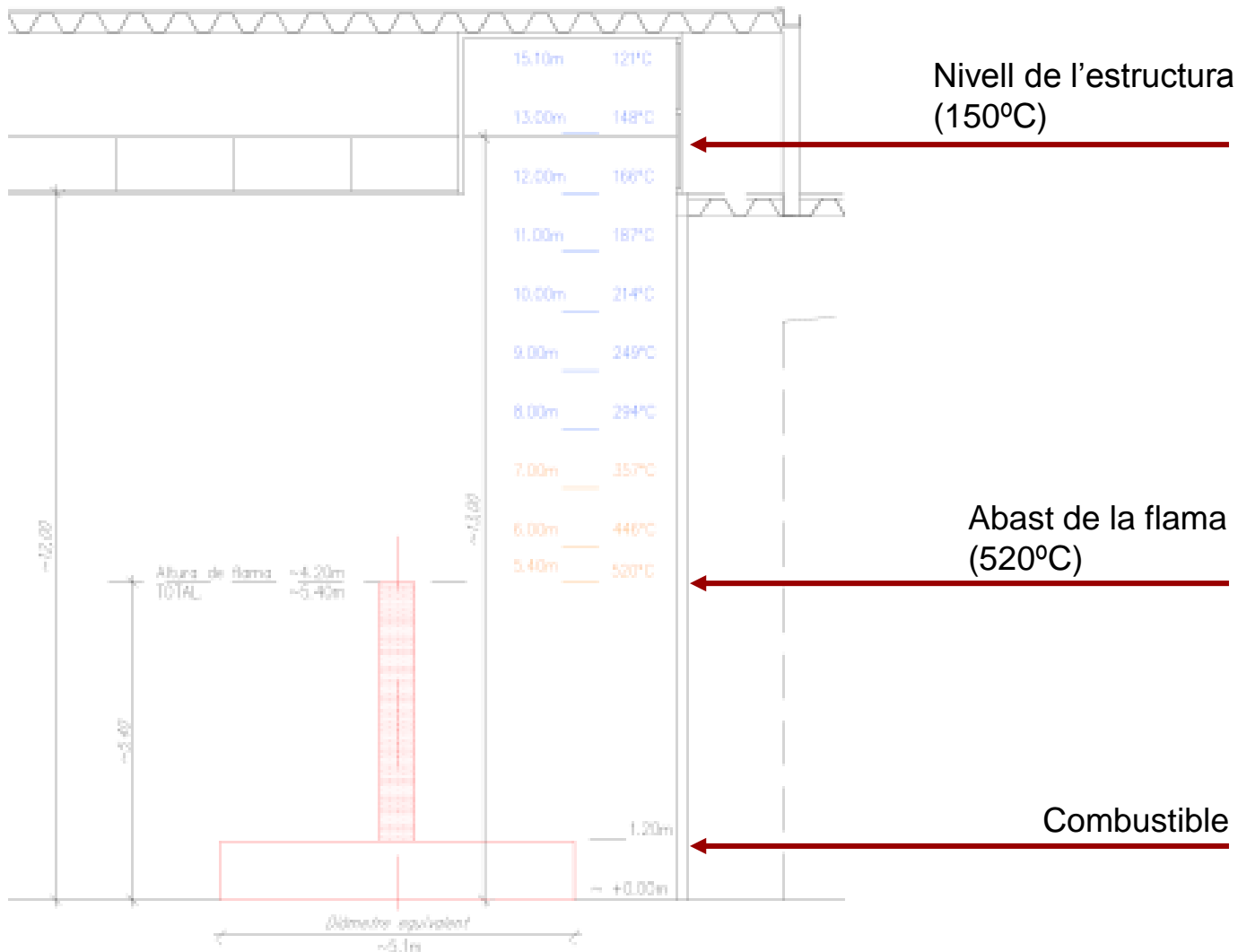
- Espais ben ventilats, amb focs controlats pel combustible
- Focs localitzats de menys de 10m de diàmetre
- Potència alliberada inferior a 50MW
- No es produeix flashover

L'Eurocodi no dona dades concretes sobre la dimensió dels focs localitzats. Es pot recórrer a bibliografia o a assajos portats a terme a la unió Europea (ECSC).



Estudis avançats de Foc Real

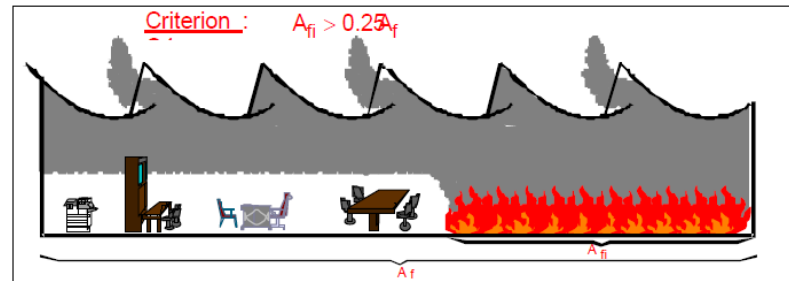
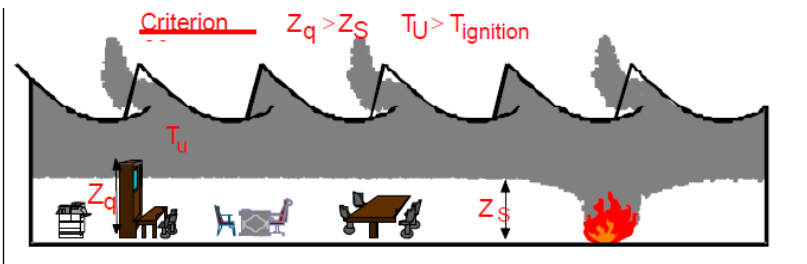
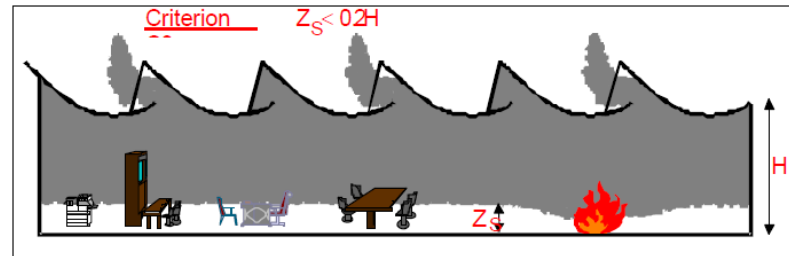
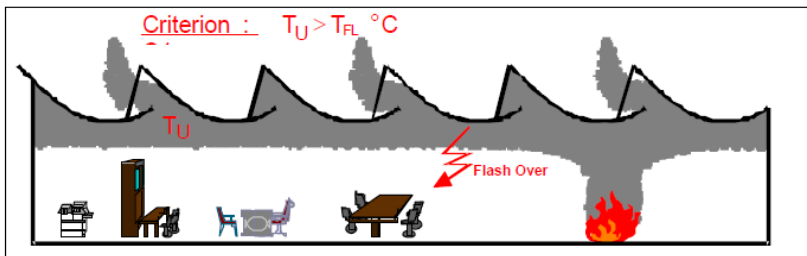
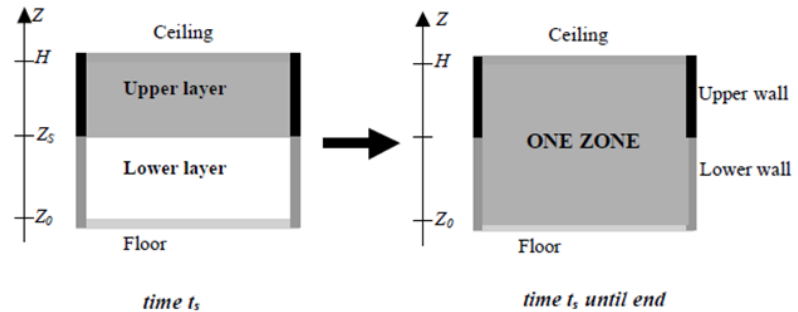
Models simplificats de foc localitzat



Estudis avançats de Foc Real

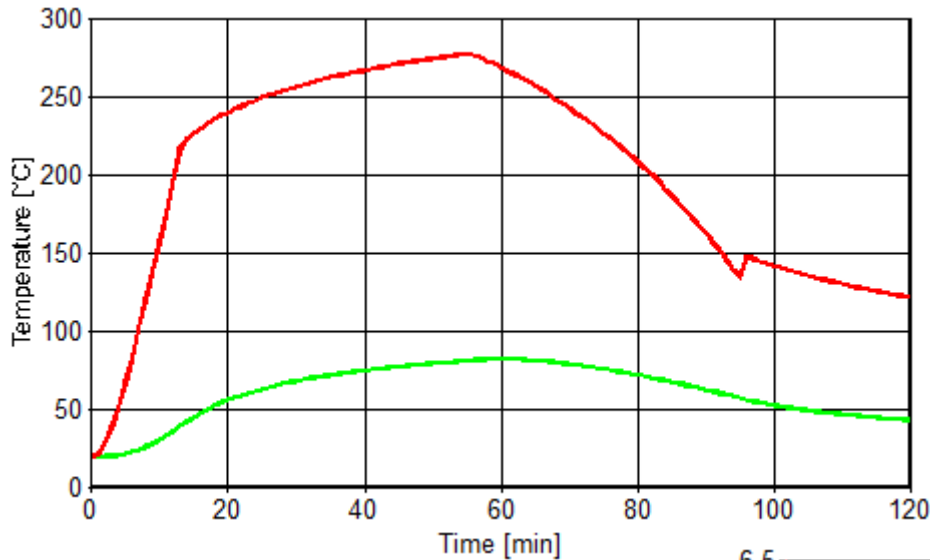
Models avançats de càlcul – Models de Zona

Els programes informàtics són capaços de considerar un model de 2 zones en primera instància i passar a models de 1 zona en funció de diversos paràmetres.

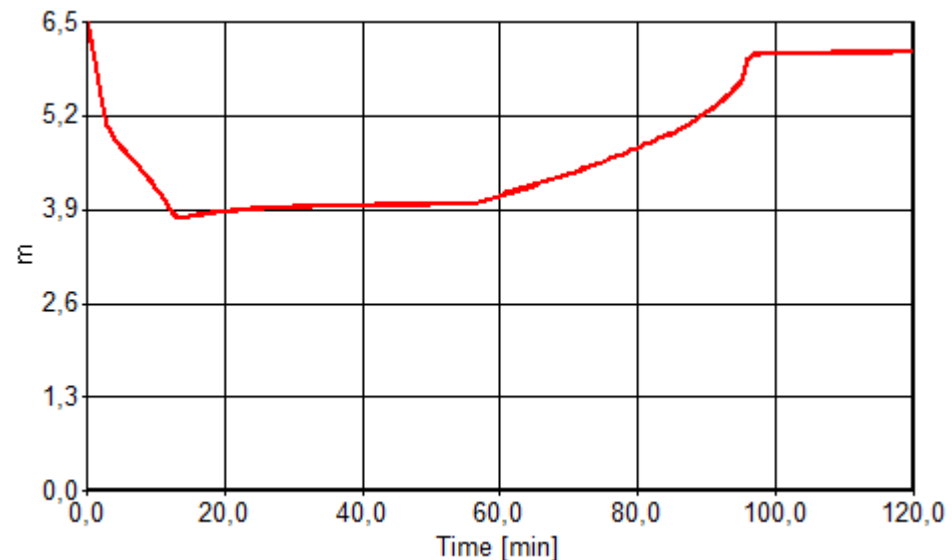


Estudis avançats de Foc Real

Models avançats de càlcul – Models de Zona



- Exemple de les temperatures assolides a la capa calenta i la capa freda en un escenari de 500m², amb un foc localitzat de 36m² i una densitat de càrrega de foc de 1800MJ/m². Altura de l'escenari de 6,50m.



Estudis avançats de Foc Real

Models avançats de càlcul – Dinàmica Computacional de Fluids

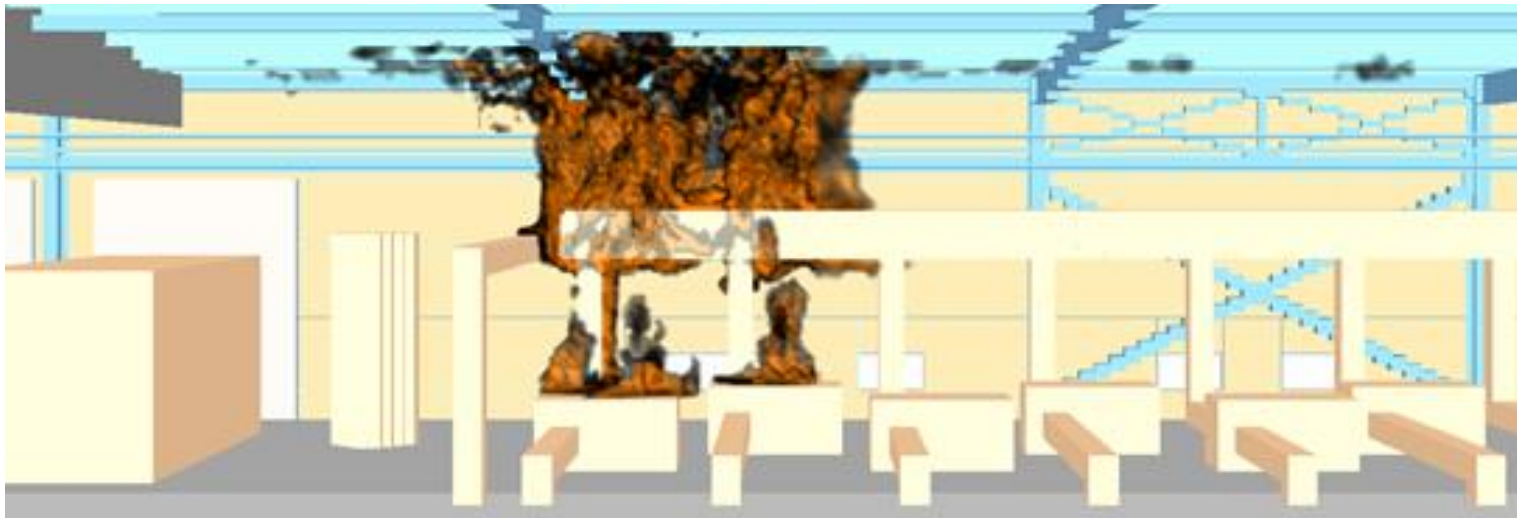
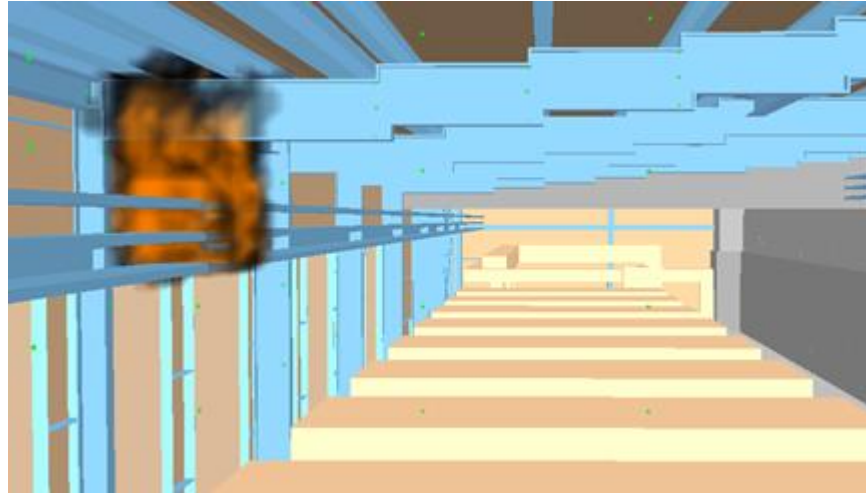
- La Dinàmica Computacional de Fluids (C.F.D.) actualment és el mètode més avançat per la simulació real dels incendis.
- Està basada principalment en:
 - Les teories de la Mecànica de Fluids
 - La Termodinàmica
 - La Combustió dels materials
- Es resolen les equacions diferencials parcials de Navier-Stokes en funció del temps, per a gasos compressibles.
- Equacions fonamentals:
 - Llei de Conservació de la Massa (Equació de Continuïtat)
 - Llei de Conservació de la Quantitat de Moviment (2^a Llei de Newton)
 - Llei de Conservació de l'Energia (1^a Llei de la Termodinàmica)
- Resultats en funció de temps i l'espai: temperatura, velocitat, concentracions d'espècies químiques, etc.



Estudis avançats de Foc Real

Models avançats de càlcul – Dinàmica Computacional de Fluids

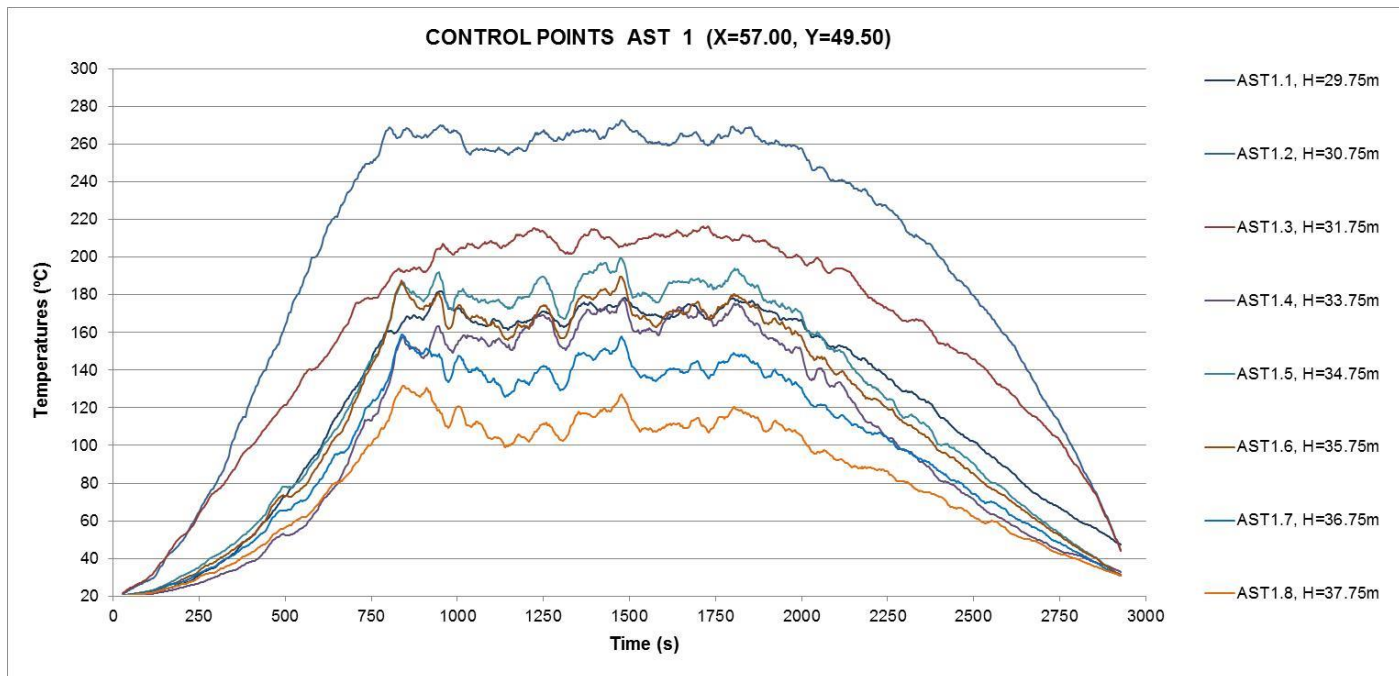
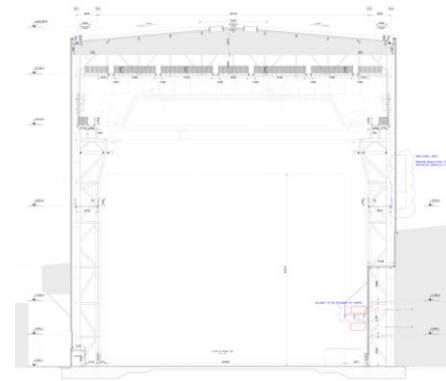
- Aplicació C.F.D. als edificis del complex de Fusió Nuclear ITER, a França.
- Anàlisi de la propagació de la flama i afectació d'incendis en safates elèctriques a les estructures d'acer.
- Objectiu: Optimització de les proteccions ignífugues sobre l'estructura metàl·lica.



Estudis avançats de Foc Real

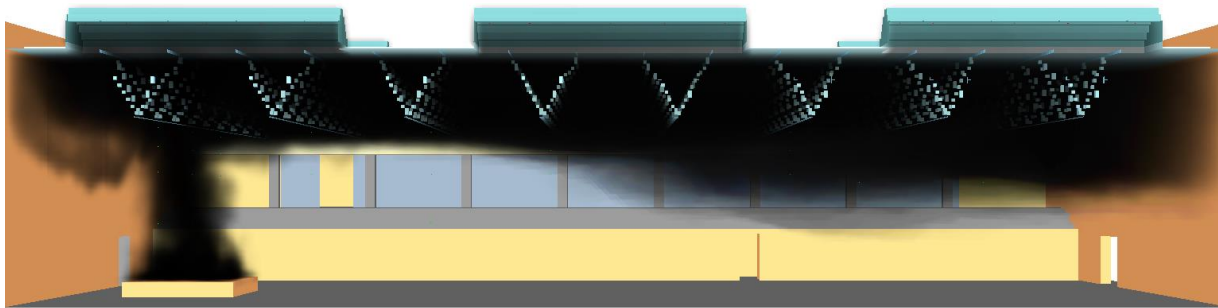
Models avançats de càlcul – Dinàmica Computacional de Fluids

- Aplicació a edificis del complex de Fusió Nuclear ITER.
- Obtenció de les corbes Temperatura-Temps reals que es produeixen a les proximitats de l'estructura en funció dels escenaris d'incendi més probables durant la Fase Nuclear.



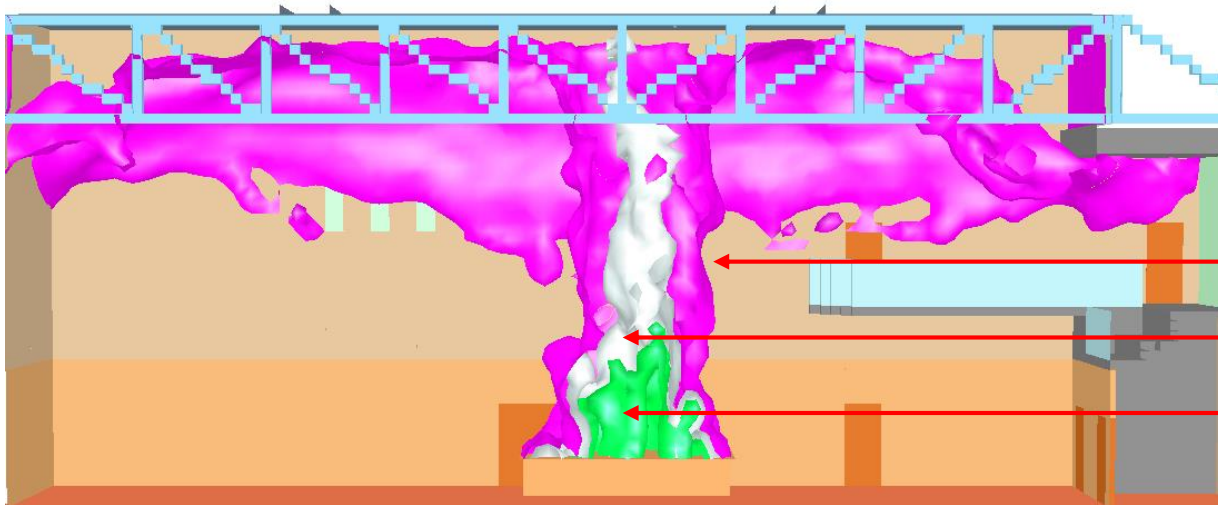
Estudis avançats de Foc Real

Models avançats de càlcul – Dinàmica Computacional de Fluids



Aplicació a edificis poliesportius.

Estudis del comportament de la capa de fums en funció del temps.



Isosuperfícies amb les temperatures sobre l'estructura.

T=150°C

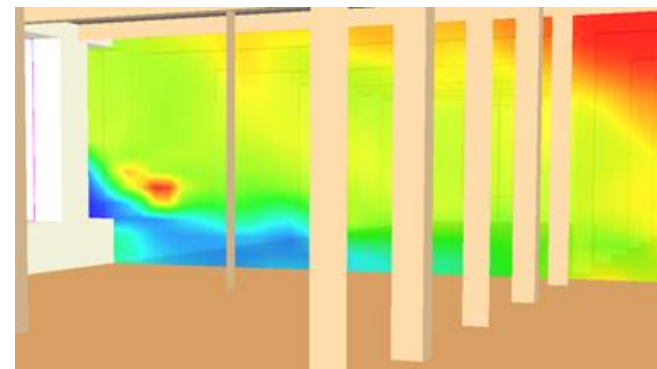
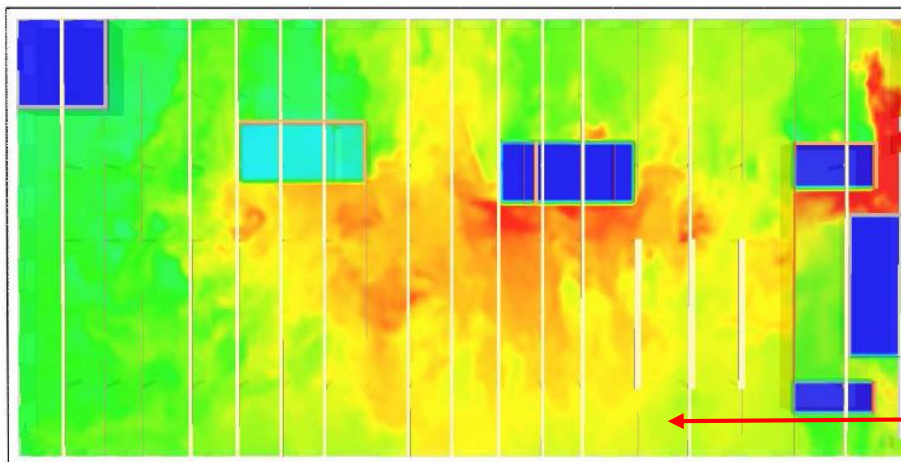
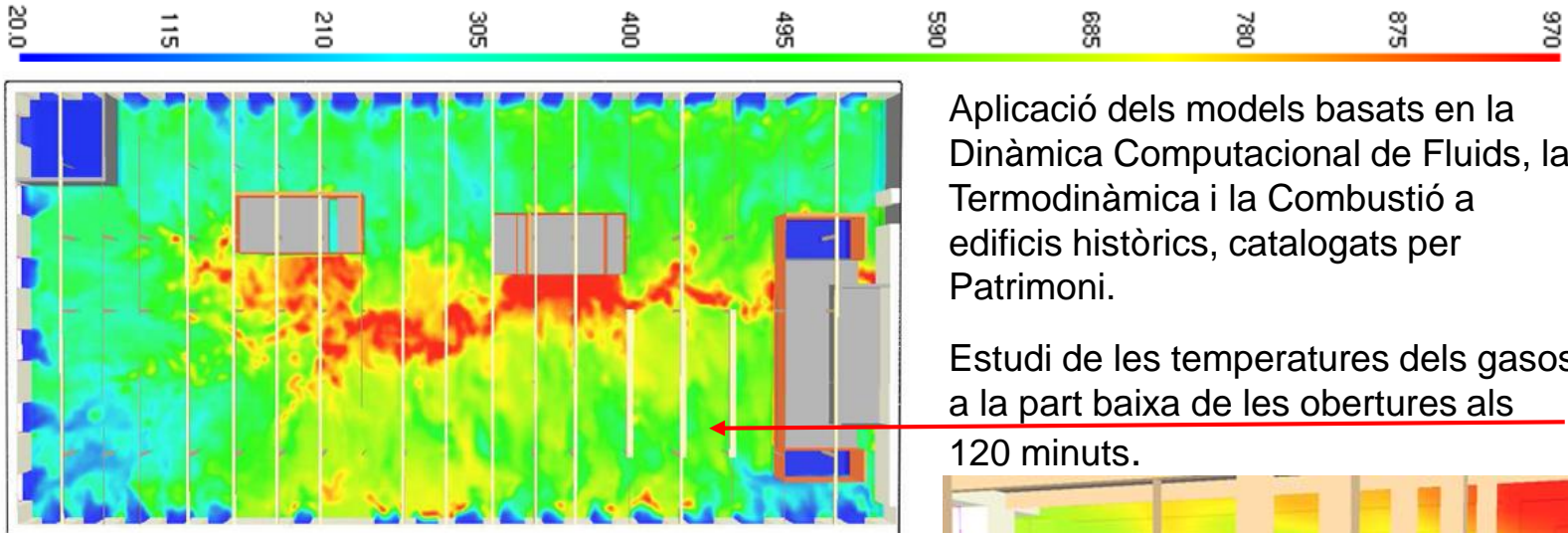
T=300°C

T=550°C



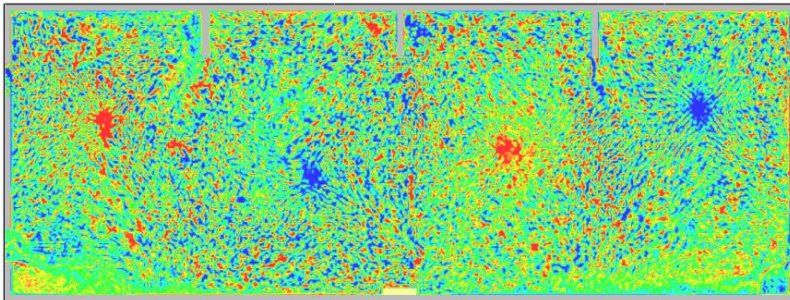
Estudis avançats de Foc Real

Models avançats de càlcul – Dinàmica Computacional de Fluids

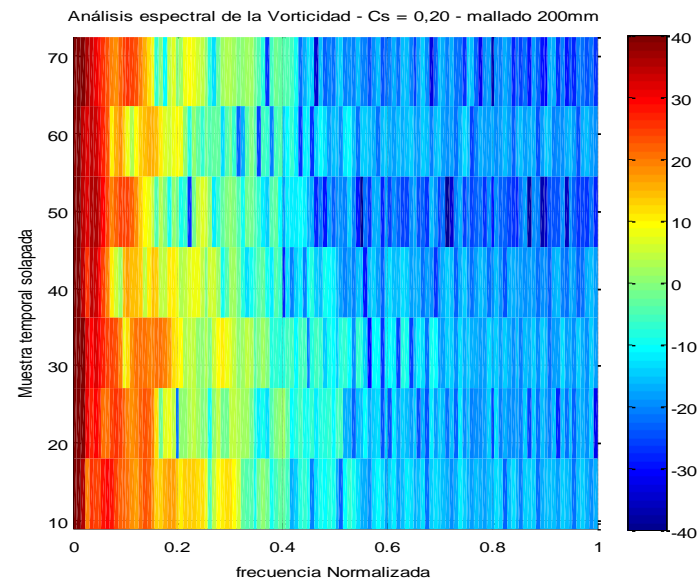
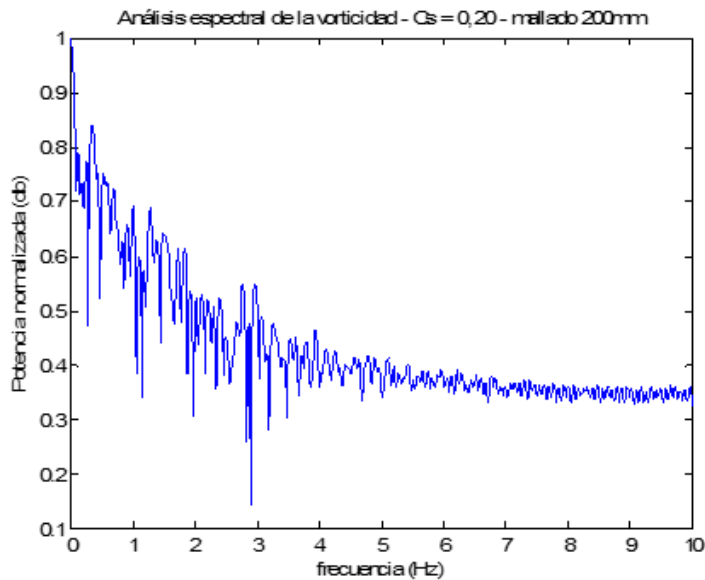


Estudis avançats de Foc Real

Models avançats de càlcul – Dinàmica Computacional de Fluids



- Els models de Dinàmica Computacional de Fluids també tenen un ampli camp d'utilització en la investigació.
- Actualment s'està investigant molt en aquest camp i cada vegada es reproduïxen les condicions dels incendis amb més fidelitat.



Models tèrmic-mecànics

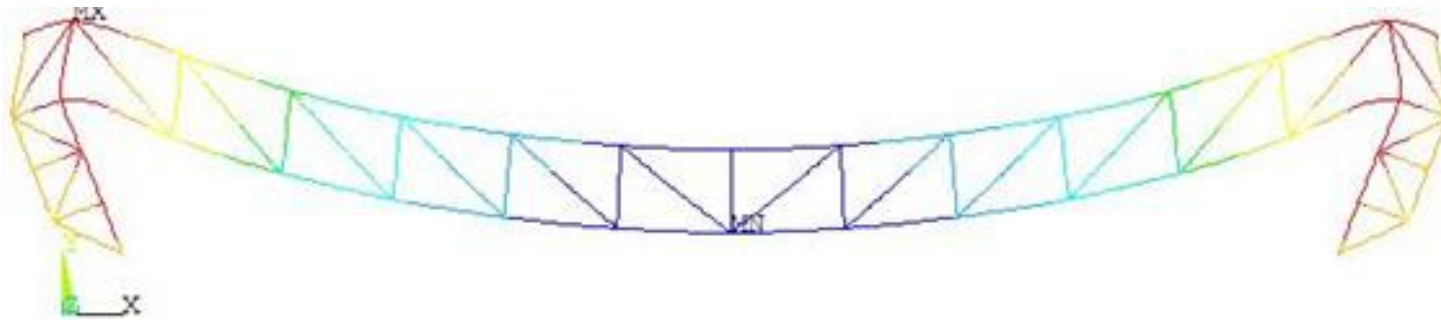
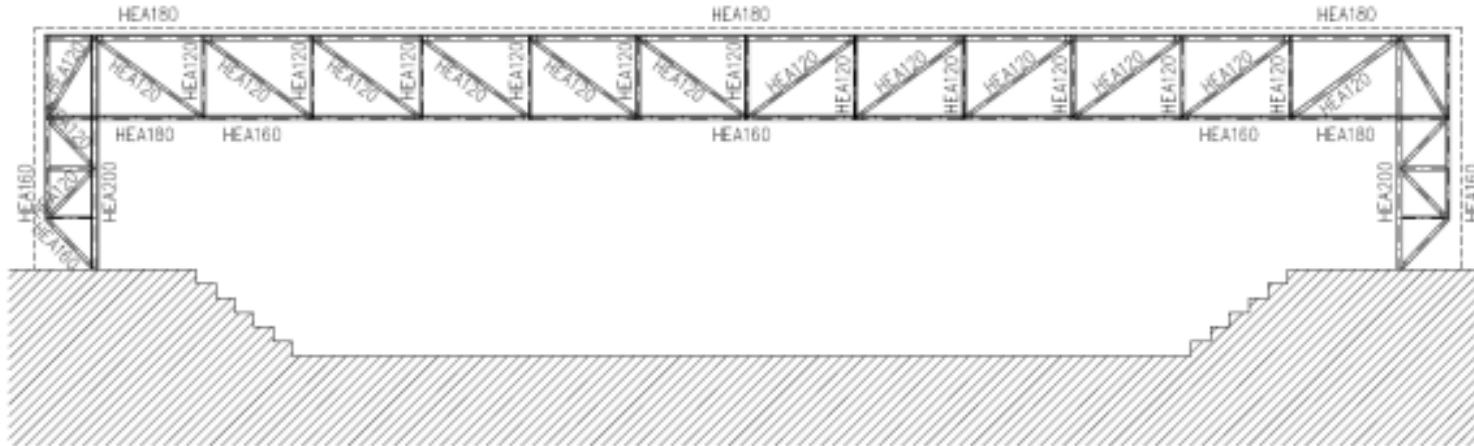
- L'objectiu dels càlculs prestacionals és **dictaminar sobre el comportament real de les estructures davant l'acció del foc.**
- Un cop obtingudes les lleis Temperatura-temps reals s'ha d'avaluar el **Flux de calor Net sobre els elements estructurals**, suma del Flux de Calor per radiació i del Flux de Calor per conducció:

$$\dot{q}''_{Net} = \dot{q}''_{Radiació} + \dot{q}''_{Convecció}$$

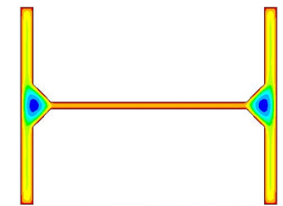
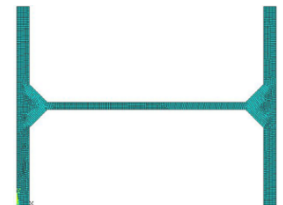
- **Anàlisi tèrmic-mecànica** de l'estructura, considerant:
 - Flux de Calor Net en funció del temps
 - No linealitats geomètriques i mecàniques
 - Resposta dels materials en funció de la temperatura
 - Incorporació dels efectes tèrmics de 2ⁿ ordre



Models tèrmic-mecànics

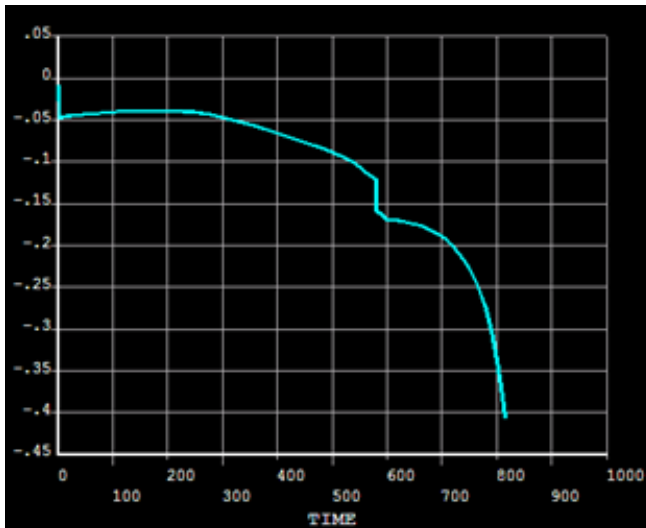
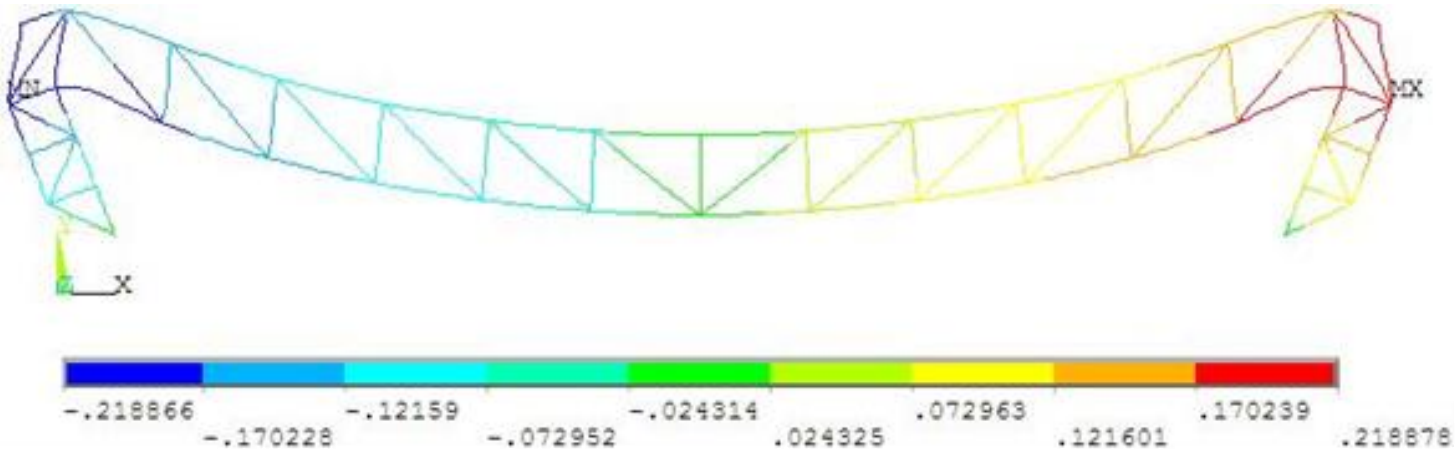


Desplaçaments verticals del pòrtic



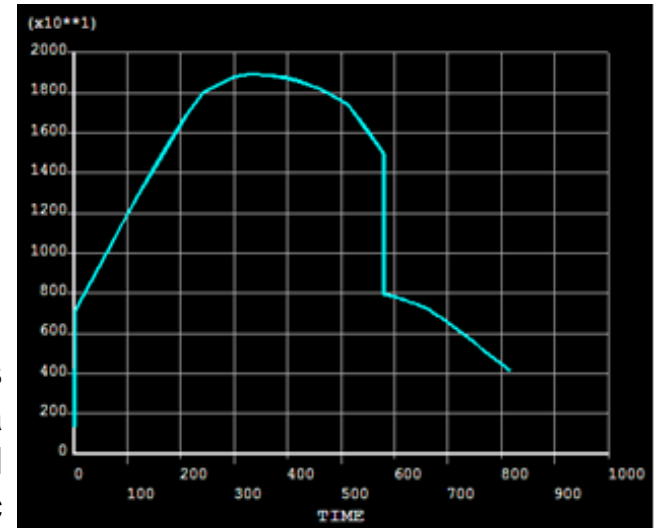
Models tèrmic-mecànics

Desplaçaments horitzontals del pòtic



Moviments verticals al centre del pòtic

Moviments horitzontals a la part dreta del pòtic





Càlculs prestacionals

Carlos Muñoz Blanc
Doctor Arquitecte
cmunoz@bacecg.com