

***Anàlisi d'un incendi en una nau industrial a Gavà.  
Conclusions per a l'aplicació del RSCIEI en naus de  
tipus A en horitzontal.***

**Jornada sobre retorn d'experiències**  
**Institut de Seguretat Pública de Catalunya**  
27 de novembre de 2012

Joan Gallart. Cap del Servei de prevenció  
Albert González. Tècnic del Servei de Prevenció  
Eduard Caimel. Expert en simulació d'incendis

# INDEX

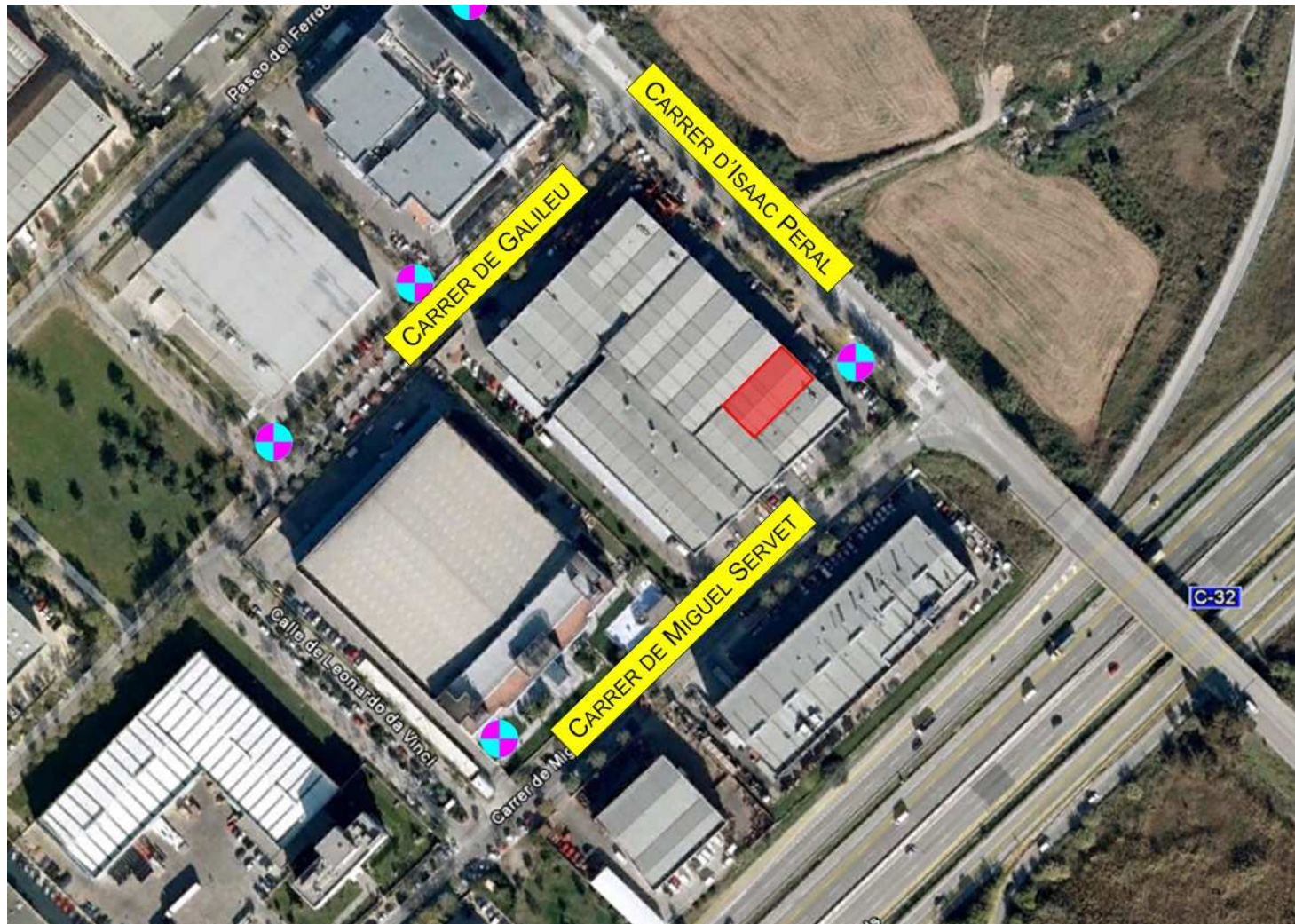
- 1. SINISTRE D'UNA NAU INDÚSTRIAL A GAVÀ**
- 2. ANÀLISI DE SINISTRES DE PÒRTICS ENTRE MITGERES**
- 3. CONTROL DE LA FALLADA DE LES ESTRUCTURES AMB MESURES PASSIVES**
  - 3.1 Definició del model simulats**
  - 3.2 Paràmetres de càlcul amb OZONE**
  - 3.3 Corbes d'incendi resultants del model de zones 1D**
  - 3.4 Control tèrmic de l'estructura amb sistemes de ventilació**
  - 3.5 Control tèrmic de l'estructura amb aïllament**
  - 3.6 Taula de resultats**
  - 3.7 Conclusions 1D**
- 4. SIMULACIÓ DELS INCENDIS AMB FIRE DYNAMICS SIMULATOR**
- 5. TORN OBERT DE PARAULES**

## 1. Sinistre d'una nau industrial a Gavà



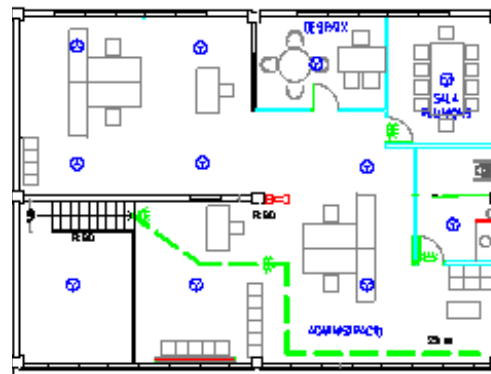
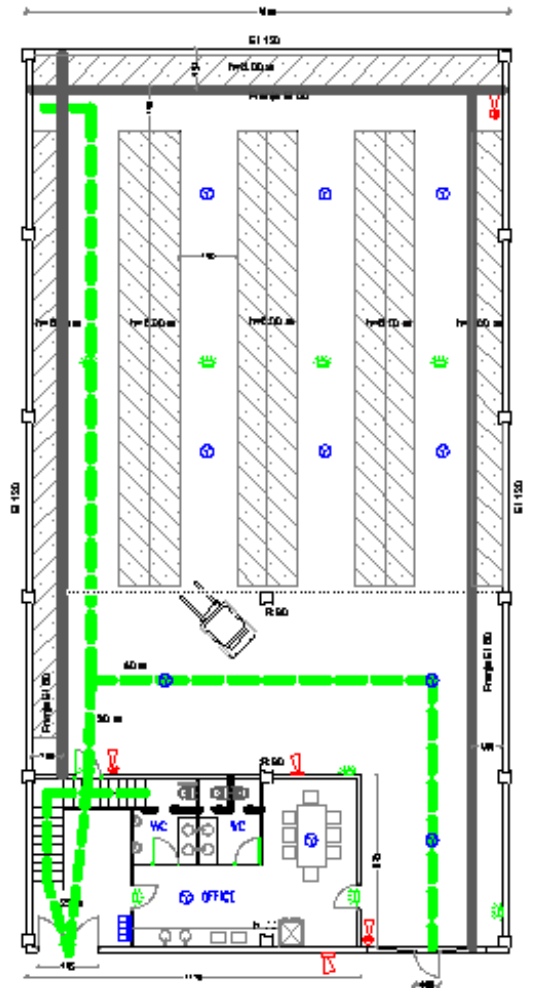
## 1. Sinistre d'una nau industrial a Gavà

Parc logístic i industrial a Gavà  
Incendi ocorregut el juliol de 2010





# 1. Sinistre d'una nau industrial a Gavà



Nau industrial amb planta baixa i  
attell, amb emmagatzematge de 6  
metres d'alçada de:

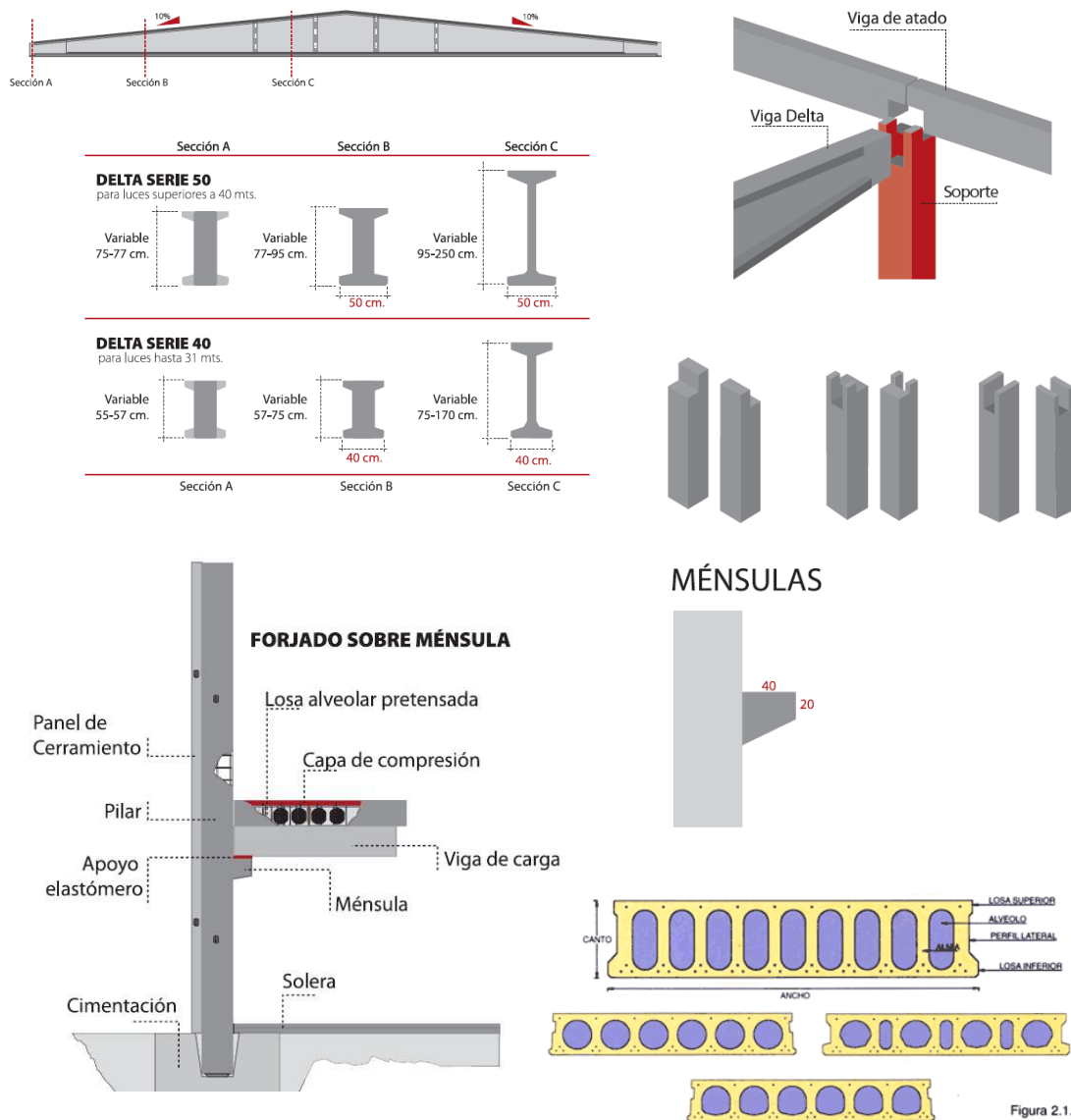
- Productes alimentaris
- Material sanitari

Planta baixa de 480 m<sup>2</sup>  
construïts, dels quals 415 m<sup>2</sup>  
corresponen al magatzem i 65 m<sup>2</sup>  
a serveis auxiliars (wc, office i  
vestíbul general d'entrada)  
Attell de 150 m<sup>2</sup> corresponents a  
les oficines i sales de reunions:  
**TOTAL 630 m<sup>2</sup>**

Construït a finals dels 90.

L'incendi es declara en horari  
nocturn, no hi ha ocupants.

# 1. Sinistre d'una nau industrial a Gavà



Nau **entre mitgeres** amb estructura (pilars) i paret mitgera compartida.

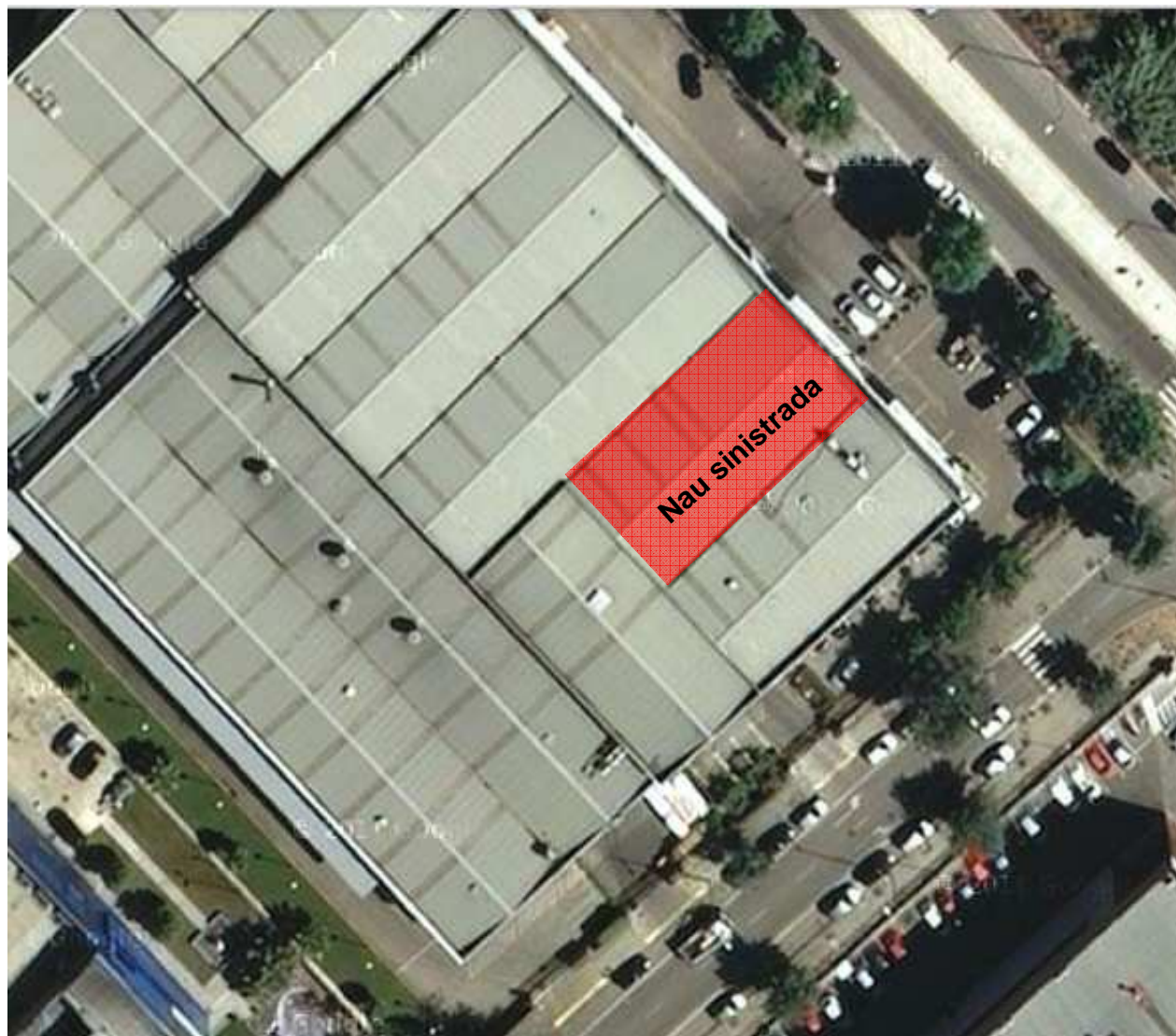
Estructura prefabricada de **formigó** (pilars prefabricats, encavallada delta pretensada recolzada sobre mènsula i corretges en U, coberta a dues aigües de xapa metàl·lica i lluernaris de policarbonat.

**Forjat de la planta altell prefabricat** sobre mènsula amb **lloses alveolars** autoportants.

**Parets mitgeres de blocs de formigó prefabricats.** Façana de blocs de formigó revestit amb morter a nivell de planta baixa i pany envidriat amb fusteria d'acer galvanitzat polit.

Figura 2.1.2.

# 1. Sinistre d'una nau industrial a Gavà



## 1. Sinistre d'una nau industrial a Gavà

Danys ocorreguts a la façana.





## 1. Sinistre d'una nau industrial a Gavà

Esfondrament parcial a la façana compartida amb nau de la dreta.



## 1. Sinistre d'una nau industrial a Gavà

Esfondrament de la coberta lleugera, incloent les bigues delta.



## 1. Sinistre d'una nau industrial a Gavà

Esfondrament de la meitat del forjat alveolar de l'altell i d'un pilar central.



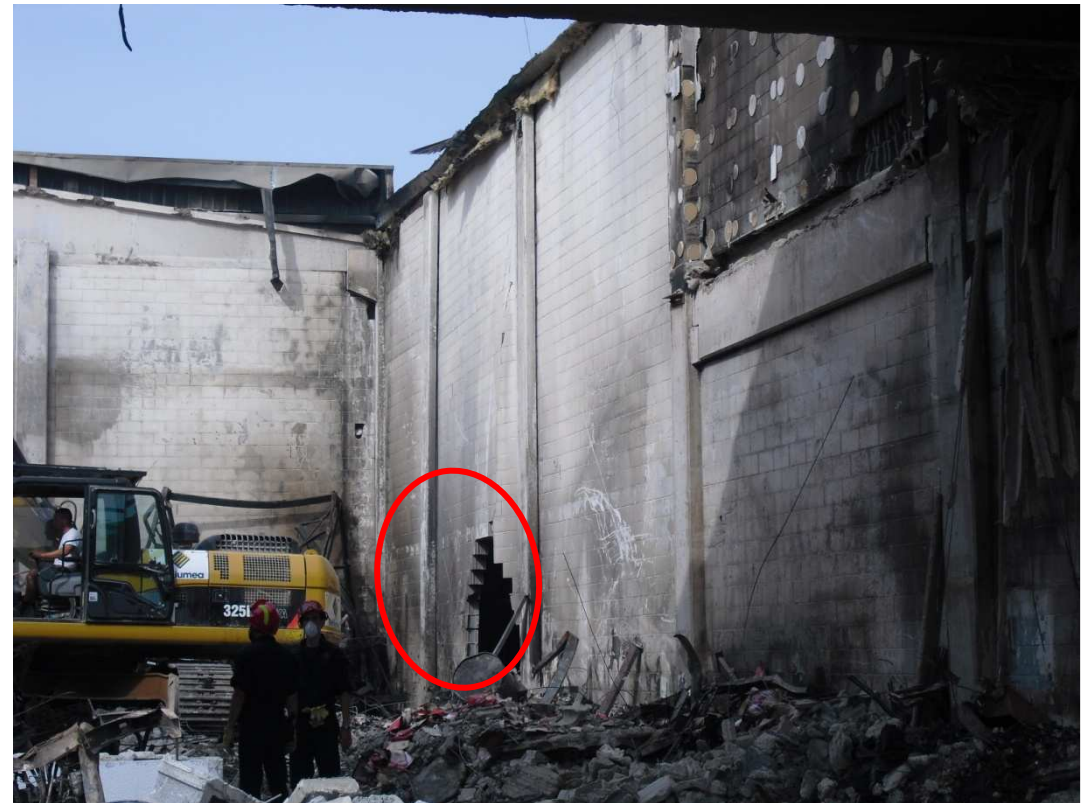


# 1. Sinistre d'una nau industrial a Gavà

Detalls de les afectacions a ambdues parets mitgeres:



Esfondrament paret mitgera esquerra

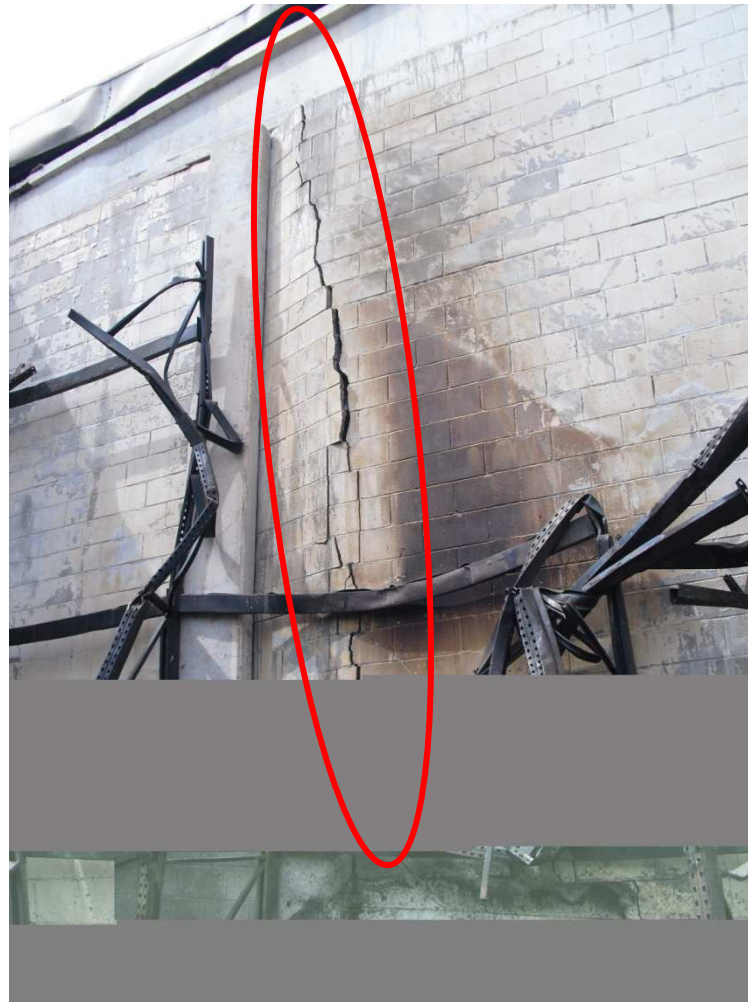


Afectació paret mitgera dreta



## 1. Sinistre d'una nau industrial a Gavà

Detalls de l'afectació a la paret mitgera amb la nau posterior:



## 1. Sinistre d'una nau industrial a Gavà

Propagació per coberta a totes les naus adjacents, pels lluernaris continus:





## 1. Sinistre d'una nau industrial a Gavà

Detalls de la coberta: propagació per lluernaris continus:



## 1. Sinistre d'una nau industrial a Gavà

Algunes fotografies de l'interior (vestíbul, sala office i planta altell):





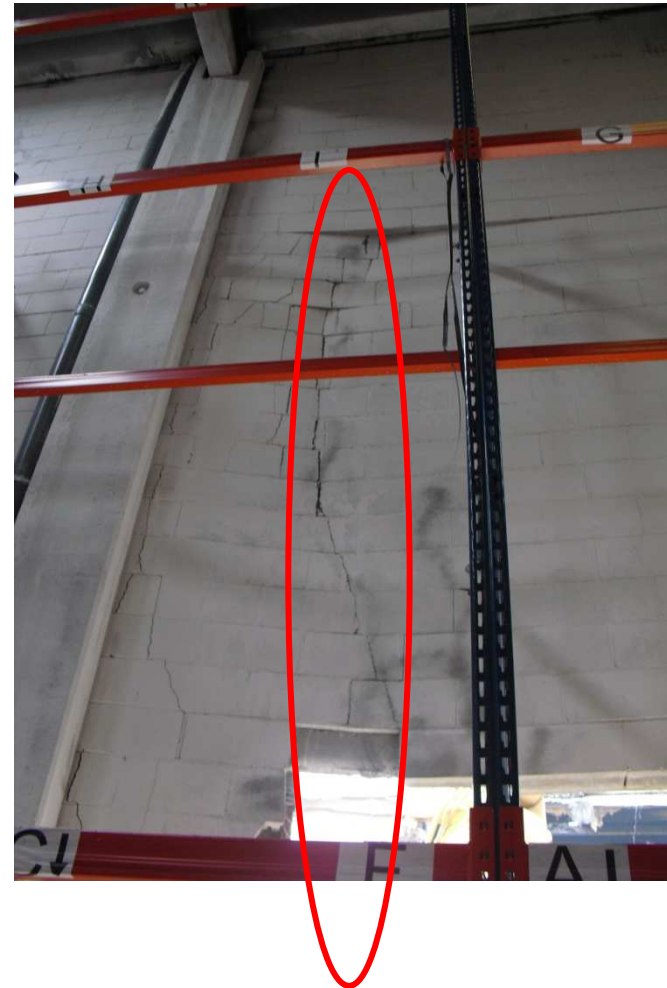
## 1. Sinistre d'una nau industrial a Gavà

Afectació nau esquerra màquines de *vending* i recreatives:



# 1. Sinistre d'una nau industrial a Gavà

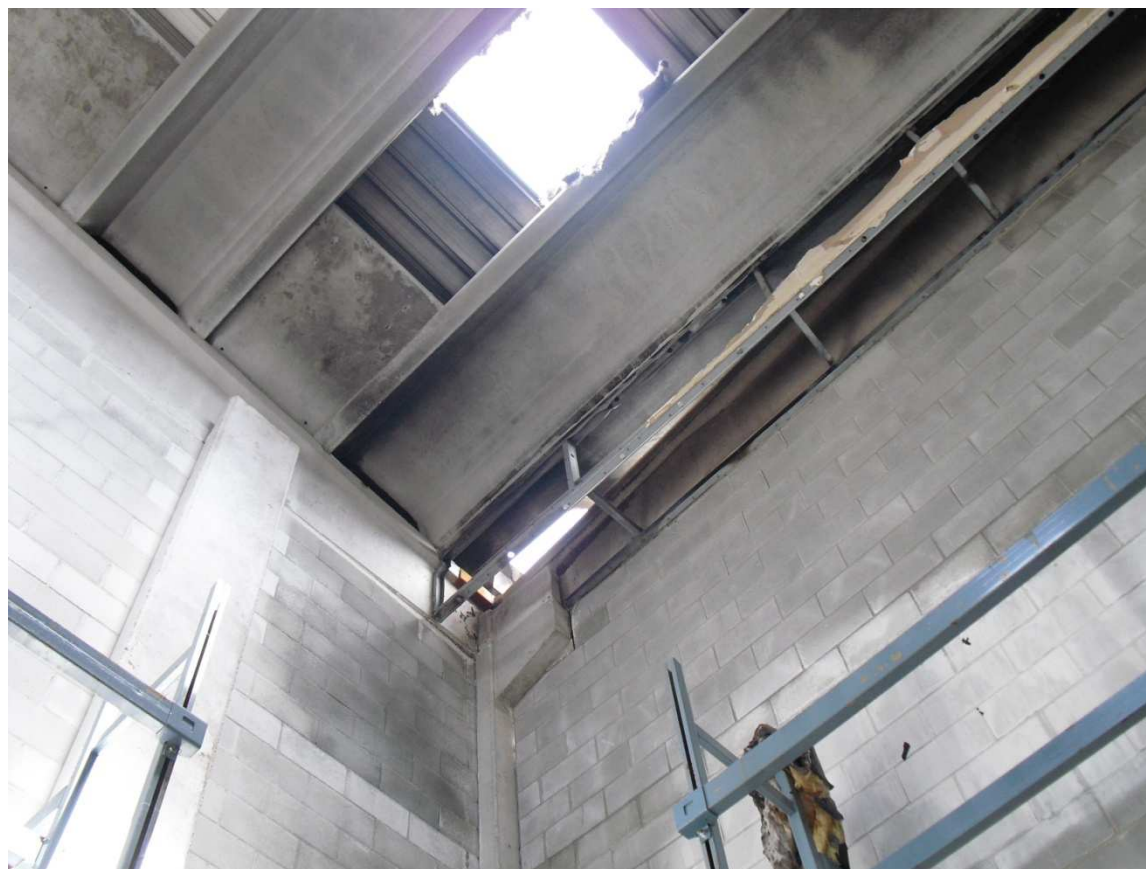
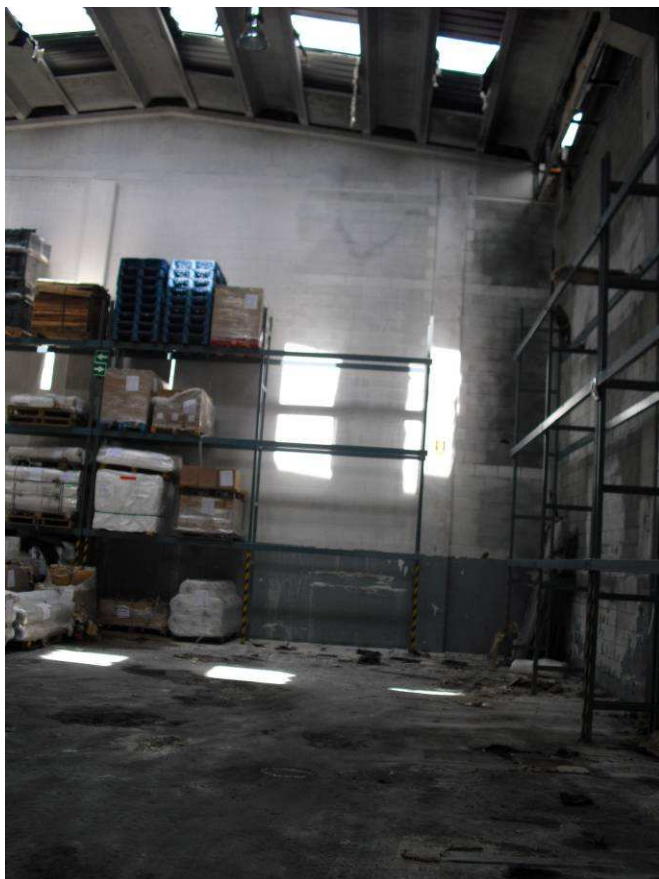
Afectació nau dreta emmagatzematge i logística de peces metàl·liques





## 1. Sinistre d'una nau industrial a Gavà

Afectació nau posterior emmagatzematge de rotilles de polipropilè:

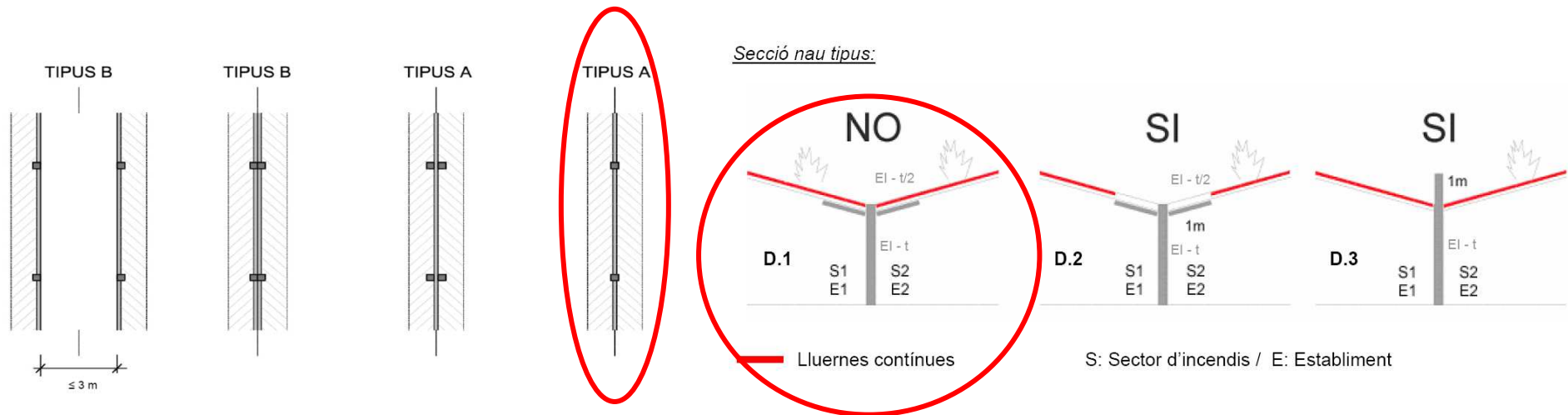




***Aplicació de la Normativa del Reglament de Seguretat Industrial (RSCIEI 2004) a aquest establiment***

## 1. Sinistre d'una nau industrial a Gavà

- **Configuració de l'edifici respecte el seu entorn:** nau de tipus A horitzontal.
- **Nivell de risc intrínsec:** MIG 5 – 680 Mcal/m<sup>2</sup>.
- **Sectorització:** 300 m<sup>2</sup>, com a màxim, o bé un sol sector amb ruixadors automàtics i control de fums (SP-119). Franja respecte veïns EI-90.
- **Materials:** lluernaris B-s1d0, discontinuïtzats respecte naus veïnes (SP-108).
- **Resistència al foc de l'estructura:** R-120 i paret EI-180 = tot 180 minuts. Forjat altell R-120. Coberta lleugera independent R-30 amb control de fums.
- **Instal·lacions de PCI:** detecció i extintors, més hidrant públic. Si es fa 1 sol sector, calen ruixadors i BIE's.



## 1. Sinistre d'una nau industrial a Gavà

En cas d'aplicació de la normativa vigent en matèria de prevenció d'incendis (RSCIEI 2004) a aquest establiment correspondria:

1. L'estructura prefabricada no assolia els valors de resistència al foc requerits per un risc intrínsec MIG 5.

2. L'evacuació d'ocupants estava ben resolta

3. La propagació exterior per façana i pels lluernaris continus a nivell de coberta es trobava mal resolta.

4. Mala execució de franges de coberta i de les parets mitgeres.

5. Manca de ventilació de fums a nivell de coberta respecte el nivell de risc intrínsec present.

6. Manca d'un sistema de ruixadors automàtics d'aigua, o bé d'una sectorització interior amb menys de 300 m<sup>2</sup> de superfície a cada sector.




***Conclusions sobre el cas observat i translació a d'altres  
supòsits de menor nivell de risc***

## 1. Sinistre d'una nau industrial a Gavà

1. És obvi que l'incendi ha afectat a les naus veïnes, degut bàsicament als detalls dels lluernaris continus a nivell de coberta i al trencament de les parets mitgeres.
2. L'impacte tèrmic degut a la quantitat de càrrega de foc continguda, ha provocat el **col·lapse estructural de la coberta i de bona part de l'altell**.
3. El RSCIEI exigiria a aquest establiment, per la seva configuració i nivell de risc, una **instal·lació de control i evacuació de fums d'incendi (exutoris)**.
4. A més, havent 1 sol sector d'incendis, el RSCIEI exigiria una **instal·lació de ruixadors automàtics d'aigua**, a fi de garantir el **no col·lapse** estructural i la **no afectació** sobre les naus veïnes.
5. L'aplicació d'aquestes mesures de seguretat pot ser **econòmica i tècnicament molt severa** sobre establiments de relativa **poca superfície** i amb **menys càrrega de foc**.
6. Mitjançant el **càlcul analític** i, paral·lelament, la **simulació computacional**, es pretén aconseguir una relació entre la superfície de l'establiment i el nivell de risc intrínsec per determinar l'afectació estructural, **en condicions de risc menys severes** que les d'aquest cas.
7. L'**objectiu** és determinar les condicions sota les quals es pugui garantir i assumir que l'estructura de la nau de Tipus A no entrarà en col·lapse degut a un incendi a l'establiment.

**Determinar les condicions i mesures de seguretat en cas d'incendi per les quals els establiments de Tipus A poden ser assimilats als de Tipus B a l'hora d'aplicar-los el RSCIEI.**



Produeixen sempre  
fallada aquestes  
estructures ??

## **2. Anàlisi de sinistres en estructures porticades d'una sola planta en ús industrial**

- 1.1 Estructura metàl·lica
- 1.2 Estructura de formigó armat
- 1.3 Estructura prefabricada de formigó



1ª FASE – Expansió de l'estructura per efectes de la dilatació tèrmica

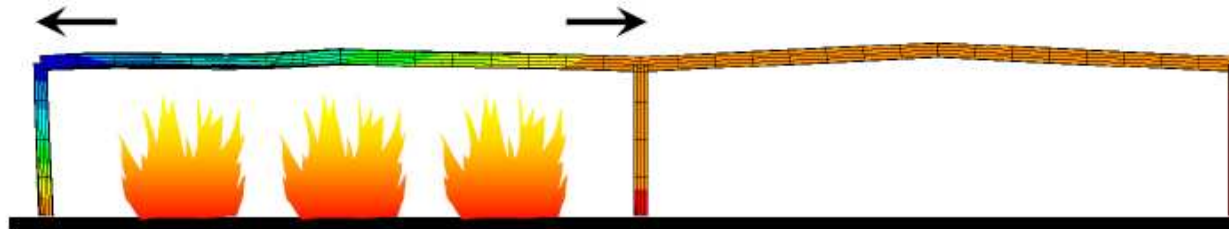


Figure 2.2 Deformed shape during the expansion phase

2ª FASE – Col·lapse de la part escalfada de l'estructura.

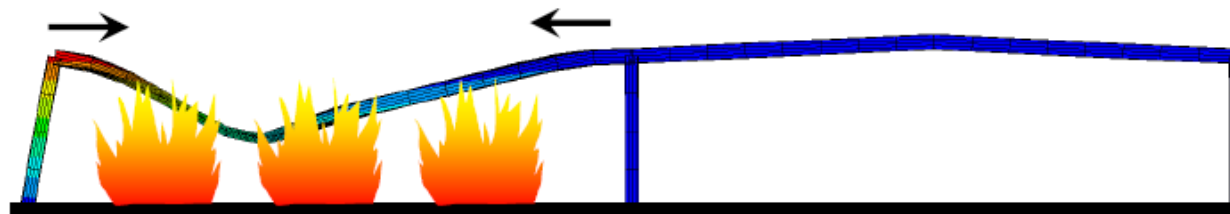


Figure 2.3 Deformed shape during the collapsing phase

3ª FASE – Final de la fase de col·lapse.

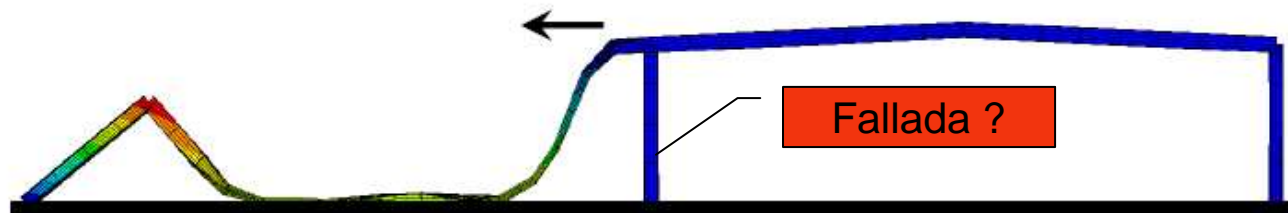
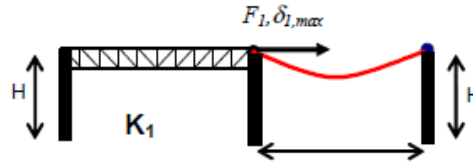


Figure 2.4 Deformed shape at the end of the collapsing phase

## 2. Anàlisi d'estructures porticades

### 2.1 Fallada tipus de l'estructura metàl·lica

El nivell de risc de l'activitat és un factor determinant alhora de considerar el col·lapse de l'estructura, que passa a funcionar com una catenària.



Nau A=800 m<sup>2</sup>. RISC BAIX 2

Nau B=900 m<sup>2</sup>. RISC MIG 4



## 2. Anàlisi d'estructures porticades

### 2.2 Fallada tipus de l'estructura formigó armat

Incendi d'un edifici d'estructura de formigó armat i forjat reticulars.

Estat de l'estructura, un cop superat tot el desenvolupament de l'incendi sense fallada.





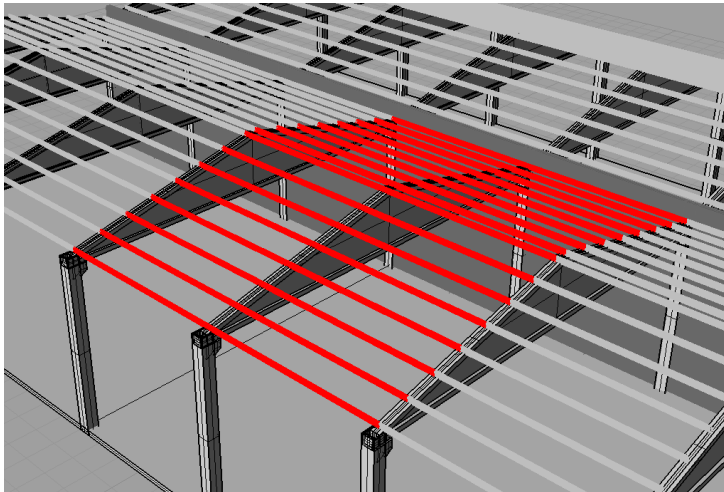
La decisió operativa de crear obertures per ventilar o no els incendis confinats, tindrà una repercussió directe en el desenvolupament de la temperatura i la durada de l'incendi.



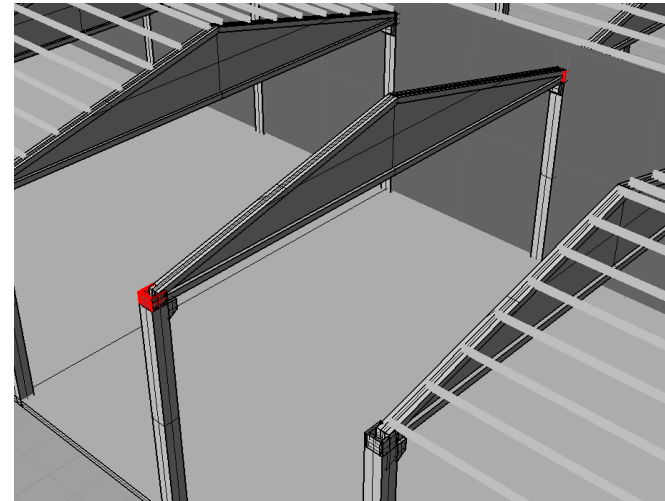
## 2. Anàlisi d'estructures porticades

### 2.3 Fallada tipus de l'estructura prefabricada

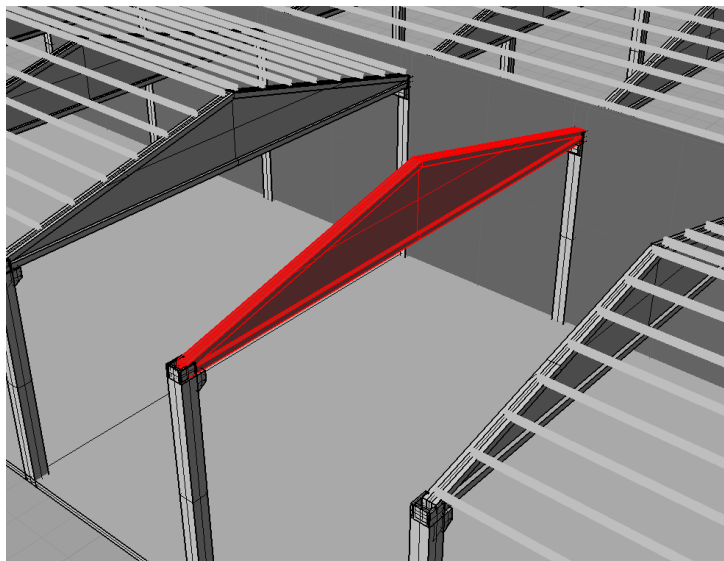
Fases de fallada de l'estructura prefabricada.



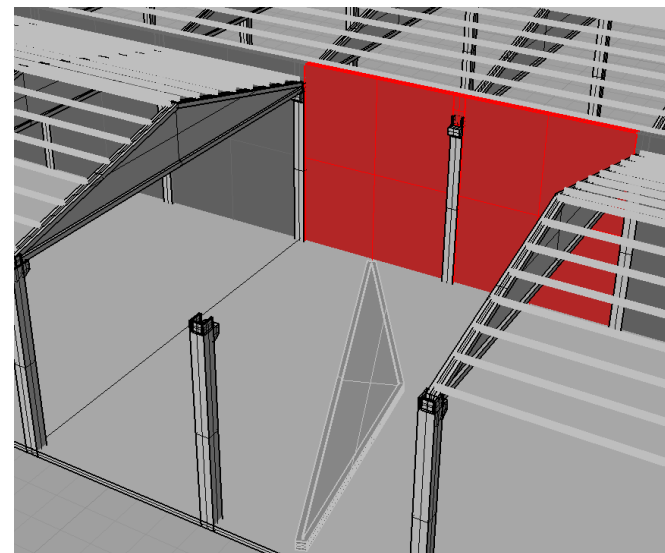
1. Fallada biguetes coberta



2. Fallada suport lateral biga delta



3. Fallada biga delta



4. Afectació sectorització

## 2. Anàlisi d'estructures porticades

### 2.3 Fallada tipus de l'estructura prefabricada



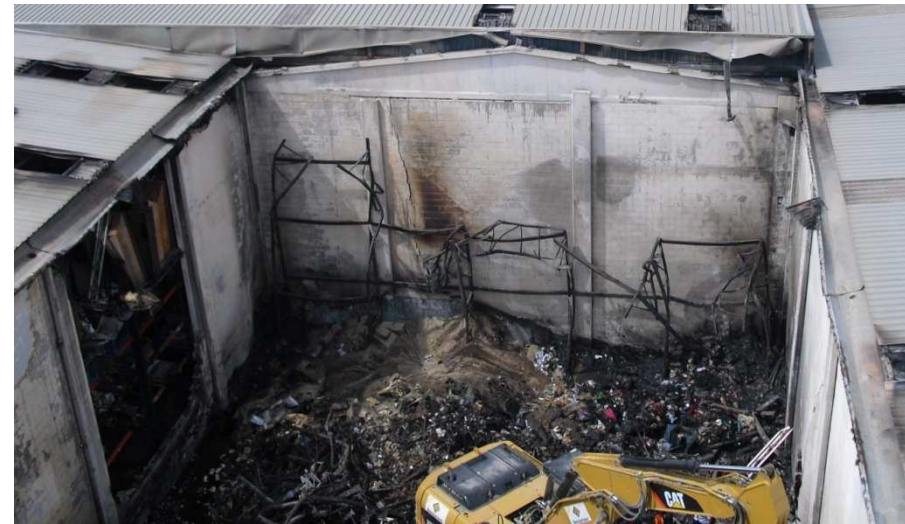
1. Fallada biguetes



2. Fallada suport biga delta



3. Fallada biga delta. Atac tèrmic ànima biga



4. Afectació sectorització

Es pot garantir  
tècnicament  
la no afectació a  
naus veïnes ??

### **3. Control de la fallada de les estructures amb mesures passives**

3.1 Definició dels models simulats

3.2 Paràmetres de càlcul amb OZONE

3.3 Corbes d'incendi resultants del model de zones (1d)

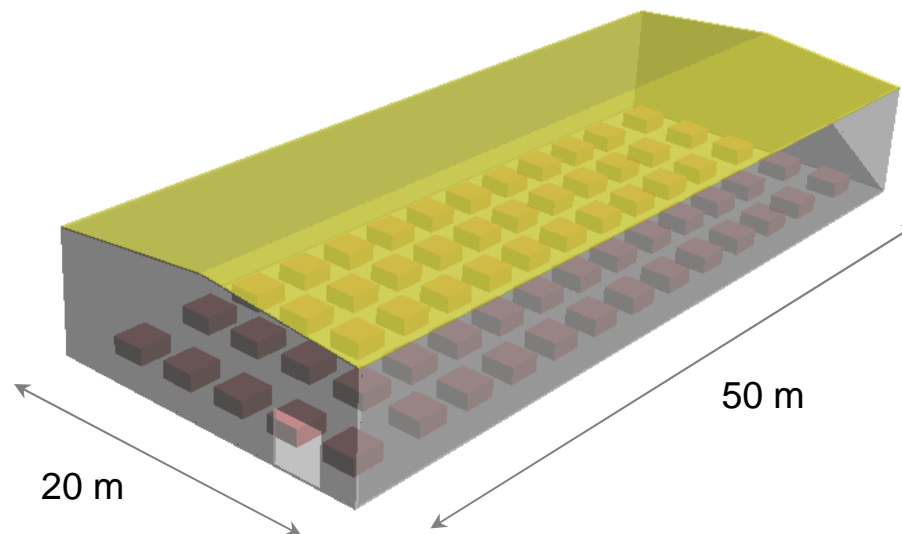
3.4 Control tèrmic de l'estructura amb sistemes de ventilació

3.5 Control tèrmic de l'estructura amb aïllament

3.6 Taula de resultat (Parcial)



### 3.1 Definició dels models simulats



Superfície total: 1000 m<sup>2</sup>

### 3.1. Definició dels models simulats

#### Sector màxim admissibles per als sector d'incendi - RSCIEI

TAULA 2.1  
MÀXIMA SUPERFÍCIE CONSTRUÏDA ADMISSIBLE DE CADA SECTOR D'INCENDI

<i>Risc intrínsec del sector d'incendi</i>	<i>Configuració de l'establiment</i>		
	TIPUS A (m <sup>2</sup> )	TIPUS B (m <sup>2</sup> )	TIPUS C (m <sup>2</sup> )
BAIX 1 2	(1)-(2)-(3) 2.000 1.000	(2) (3) (5) 6.000 4.000	(3) (4) SENSE LÍMIT 6.000
MITJÀ 3 4 5	(2)-(3) 500 400 300	(2) (3) 3.500 3.000 2.500	(3) (4) 5.000 4.000 3.500
ALT 6 7 8	NO ADMÈS	(3) 2.000 1.500 NO ADMÈS	(3)(4) 3.000 2.500 2.000

### 3.1. Definició dels models simulats

## Resistència al foc de les estructures -RSCIEI

TAULA 2.2  
ESTABILITAT AL FOC D'ELEMENTS ESTRUCTURALS PORTANTS

NIVELL DE RISC INTRÍNSEC	TIPUS A		TIPUS B		TIPUS C	
	Planta soterrani	Planta sobre rasant	Planta soterrani	Planta sobre rasant	Planta soterrani	Planta sobre rasant
BAIX	R 120 (EF - 120)	R 90 (EF - 90)	R 90 (EF - 90)	R 60 (EF - 60)	R 60 (EF - 60)	R 30 (EF - 30)
MITJÀ	NO ADMÉS	R 120 (EF - 120)	R 120 (EF - 120)	R 90 (EF - 90)	R 90 (EF - 90)	R 60 (EF - 60)
ALT	NO ADMÉS	NO ADMÉS	R 180 (EF - 180)	R 120 (EF - 120)	R 120 (EF - 120)	R 90 (EF - 90)

## 3.1. Definició dels models simulats

### Requeriments normatius

D'acord amb els requeriments de l'annex II i III RSCIEI per a establiments industrials de tipus B:

#### Risc baix 1

	TIPUS A	TIPUS B
Superfície màxima sector	2 000 m <sup>2</sup>	6 000 m <sup>2</sup>
Estructura portant	<b>R 90</b>	<b>R 60</b>
Paret mitgera	REI 120	REI 120
SCTIF	No	No
Sistema automàtic de detecció	Sí	No
Sistema manual d'alarma	Sí	Sí
BIEs	Sí ( $\geq 300$ m <sup>2</sup> , 25 mm)	No

#### Risc baix 2

	TIPUS A	TIPUS B
Superfície màxima sector	1 000 m <sup>2</sup>	4 000 m <sup>2</sup>
Estructura portant	<b>R 90</b>	<b>R 60</b>
Paret mitgera	REI 120	REI 120
SCTIF	No	No
Sistema automàtic de detecció	Sí	No
Sistema manual d'alarma	Sí	Sí
BIEs	Sí ( $\geq 300$ m <sup>2</sup> , 25 mm)	No



## 3.1. Definició dels models simulats

### Risc mig 3

	<b>TIPUS A</b>	<b>TIPUS B</b>
Superfície màxima sector	500 m <sup>2</sup>	3 500 m <sup>2</sup>
Estructura portant	<b>R 120</b>	<b>R 90</b>
Paret mitgera	REI 180	REI 180
SCTIF	Sí (≥1000 m <sup>2</sup> magatzem)	Sí (≥1000 m <sup>2</sup> magatzem)
Sistema automàtic de detecció	Sí (≥300 m <sup>2</sup> )	Sí (≥2000 m <sup>2</sup> )
Sistema manual d'alarma	Sí (≥800 m <sup>2</sup> )	Sí (≥800 m <sup>2</sup> )
BIEs	Sí (≥300 m <sup>2</sup> , 45 mm.)	Sí (≥800 m <sup>2</sup> , 45 mm.)

### Risc mig 4

	<b>TIPUS A</b>	<b>TIPUS B</b>
Superfície màxima sector	400 m <sup>2</sup>	3 000 m <sup>2</sup>
Estructura portant	<b>R 120</b>	<b>R 90</b>
Paret mitgera	REI 180	REI 180
SCTIF	Sí (≥1000 m <sup>2</sup> magatzem)	Sí (≥1000 m <sup>2</sup> magatzem)
Sistema automàtic de detecció	Sí (≥300 m <sup>2</sup> )	Sí (≥2000 m <sup>2</sup> )
Sistema manual d'alarma	Sí (≥800 m <sup>2</sup> )	Sí (≥800 m <sup>2</sup> )
BIEs	Sí (≥800 m <sup>2</sup> , 45 mm.)	Sí (≥800 m <sup>2</sup> , 45 mm.)

## 3.1. Definició dels models simulats

### Risc mig 5

	<b>TIPUS A</b>	<b>TIPUS B</b>
Superfície màxima sector	500 m <sup>2</sup>	3 500 m <sup>2</sup>
Estructura portant	<b>R 120</b>	<b>R 90</b>
Paret mitgera	REI 180	REI 180
SCTIF	Sí ( $\geq 1000$ m <sup>2</sup> magatzem)	Sí ( $\geq 1000$ m <sup>2</sup> magatzem)
Sistema automàtic de detecció	Sí ( $\geq 300$ m <sup>2</sup> )	Sí ( $\geq 2000$ m <sup>2</sup> )
Sistema manual d'alarma	Sí ( $\geq 800$ m <sup>2</sup> )	Sí ( $\geq 800$ m <sup>2</sup> )
BIEs	Sí ( $\geq 300$ m <sup>2</sup> , 45 mm.)	Sí ( $\geq 800$ m <sup>2</sup> , 45 mm.)

***Models Simulats***



## 3.1. Definició dels models simulats

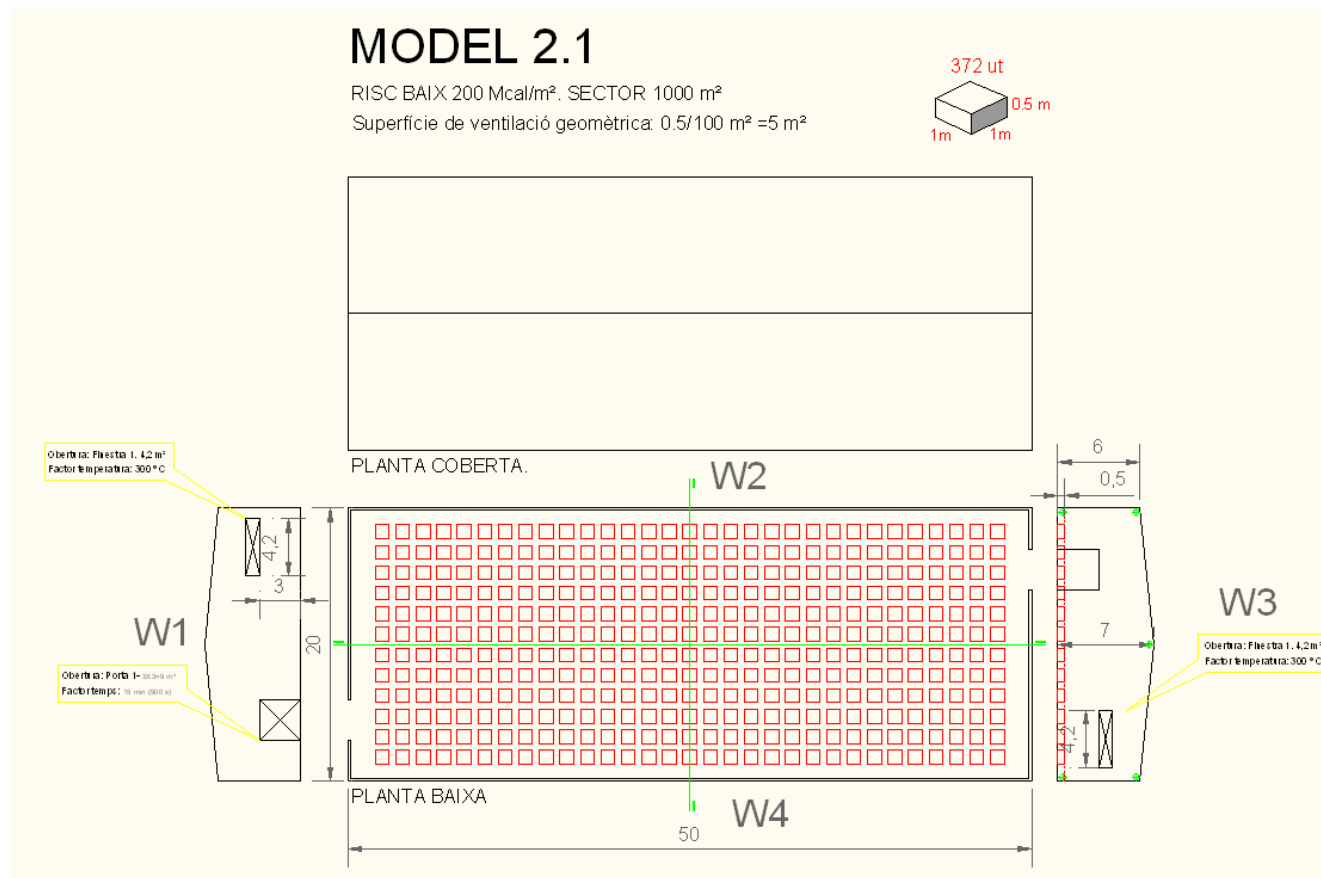
### Model 2.1 - Risc baix 2 sense ventilació

Sense control de fums

Superfície de ventilació geomètrica a l'assolir 300 °C de 8,4 m<sup>2</sup>

Superfície de ventilació geomètrica als 900 s de 9 m<sup>2</sup>

Superfície total de ventilació geomètrica de 17,4 m<sup>2</sup>



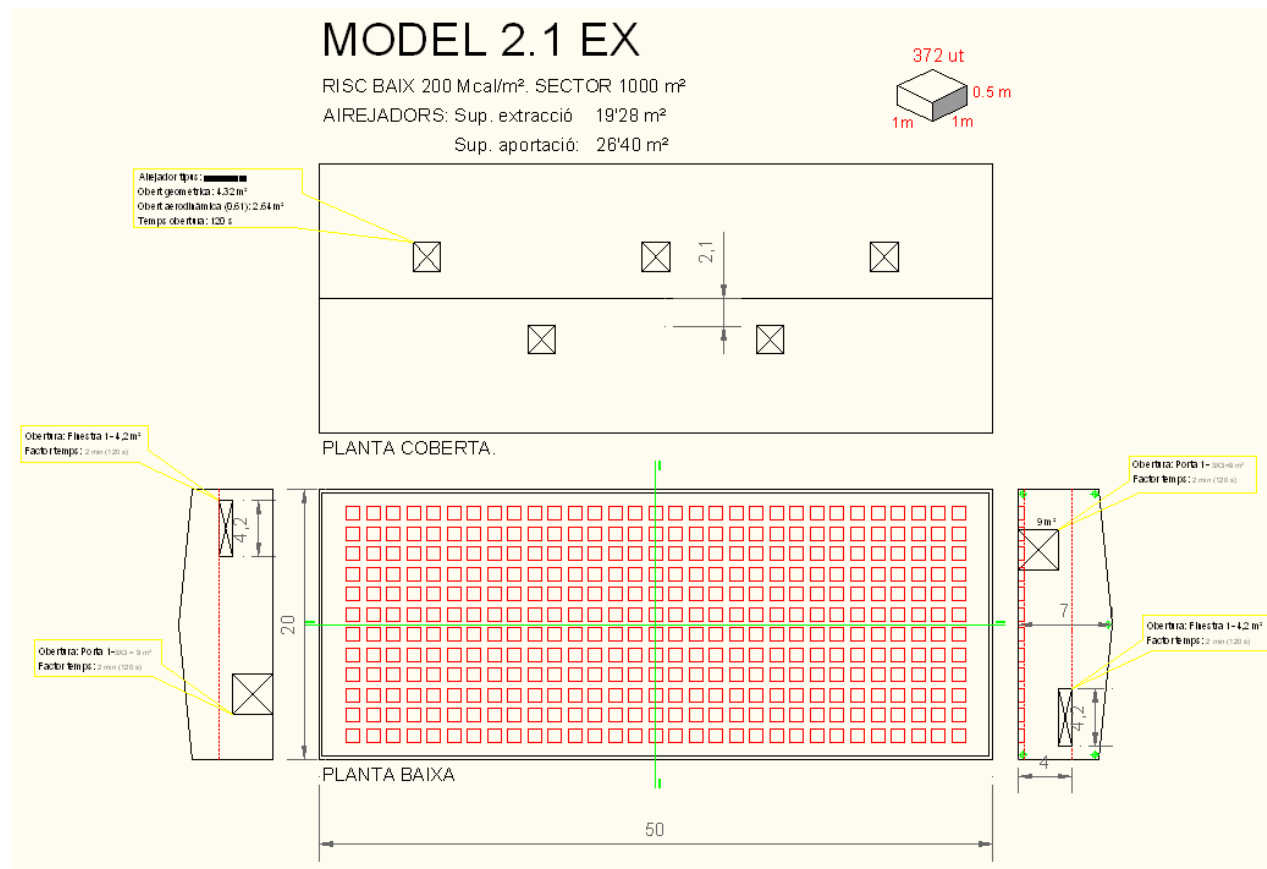
## 3.1. Definició dels models simulats

### Model 2.1 - Risc baix 2 amb ventilació

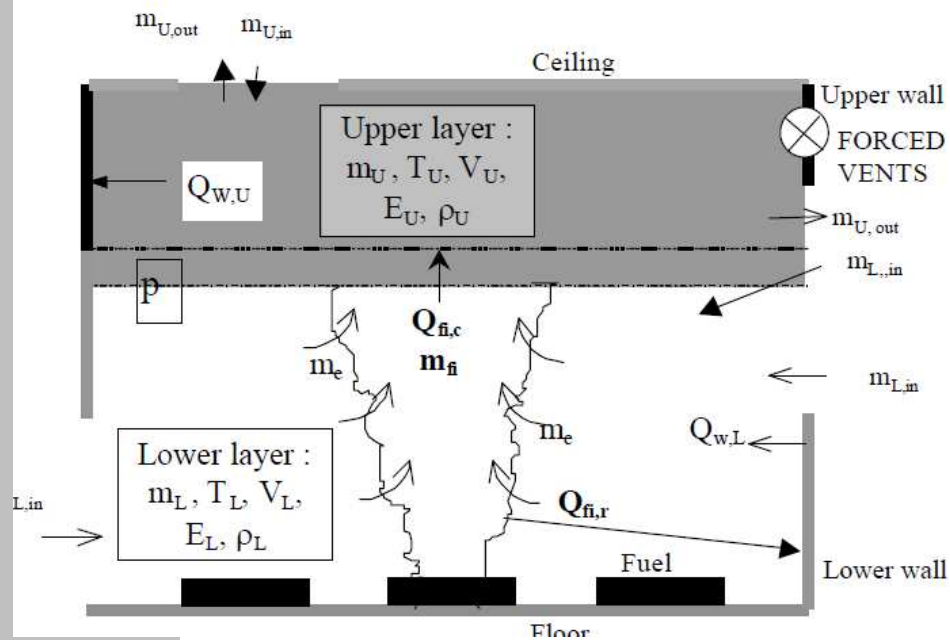
Control de ventilació:

Superfície de ventilació geomètrica als 120 s de 26,40 m<sup>2</sup>

5 unitats airejadors coberta amb superfície de ventilació geomètrica als 120 s de 19,28 m<sup>2</sup>



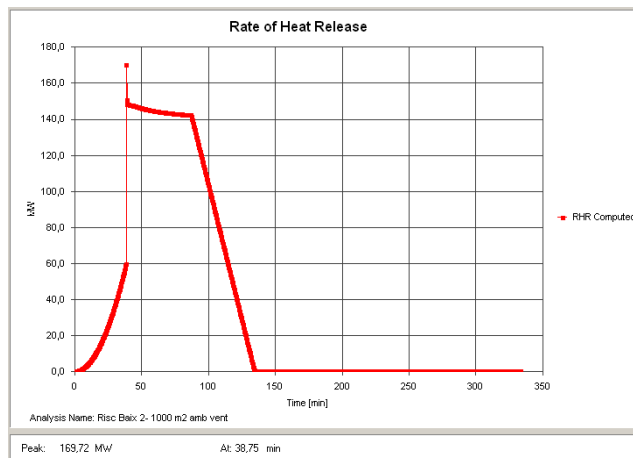
## 3.2 Paràmetres de càlcul OZONE v2.2



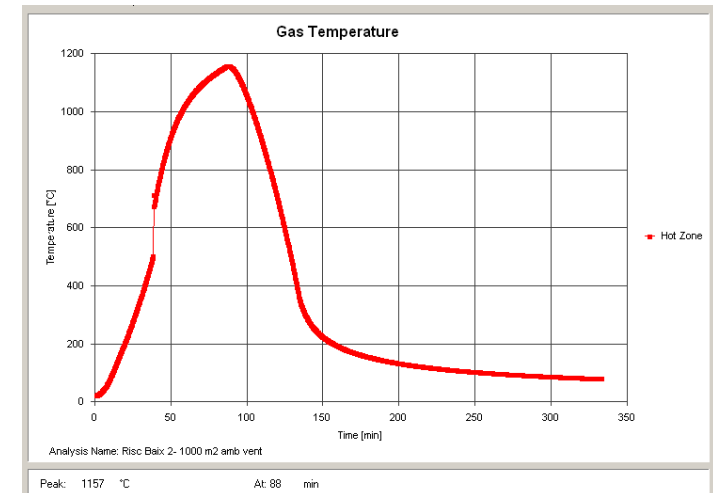
## 3.2 Paràmetres de càlcul amb OZONE

### Programa de model de zona (1D):

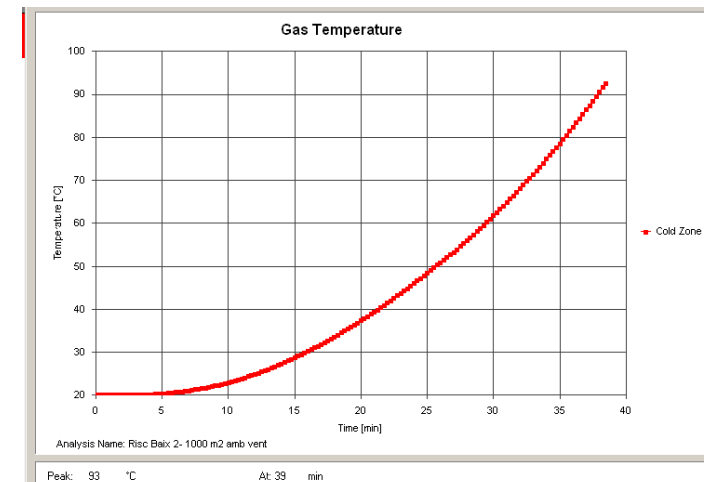
- Desenvolupat en el marc d'un treball d'investigació dels Eurocodis "Natural Fire Safety concept".
- Elaborat per la Universitat de Liege i el centre de recerca d'Arcelor de Luxemburg.
- Reconegut per la comunitat científica investigadora del desenvolupament dels incendis.
- Validació teòrica amb incendis reals (NFSC 1998).



Tassa d'alliberament de calor HRR de materials amb referència



Corba temps-temperatura capa calenta



Corba temps-temperatura capa freda



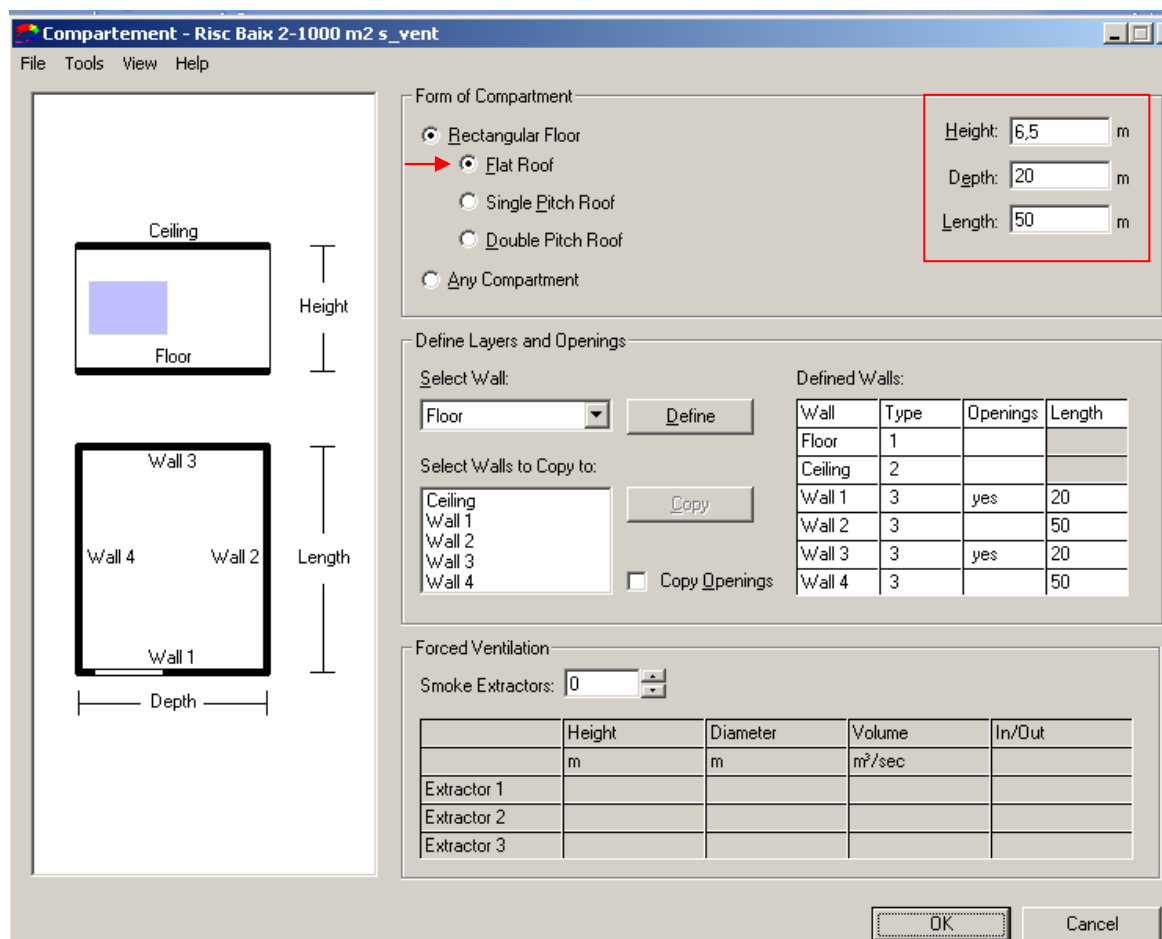
## 3.2 Paràmetres de càlcul amb OZONE

Definició de les característiques del compartiment/ sector d'incendi

### -Geometria del sector.

Àrea de 20x50 m amb una alçada de 6,5 m.

- S'ha considerat un sostre sense pendent per tal de poder insertar exhutoris en els models que es consideri.



## 2.2 Paràmetres de càlcul amb OZONE

- Propietats tèrmiques dels materials que componen el sector: Paviment de formigó, tancaments de maó i coberta lleugera tipus sandwich.

- Obertures en els tancament. Les finestres s'obren per efecte de les temperatures a 300 °C (temp. dependent) i les portes per acció dels Bombers als 15 min (time dependent).

Layers and Openings Wall 1 - Risc Baix 2-1000 m2 s\_vent

File Tools View Help

Wall Length: 20 m

	Material	Thickness [cm]	Unit mass [kg/m <sup>2</sup> ]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]	Rel Emissivity Hot Surface	Rel Emissivity Cold Surface
Layer 1	Normal Bricks	20	1600	0,7	840	0,8	0,8
Layer 2							
Layer 3							
Layer 4							

Enter each layer on a single row in the table above (up to four layers). Just click in a cell and edit its value. If not found in the list of materials you can define your own material, by filling in the appropriate cells. Define your layers starting from Layer 1 (Inside).

Define your openings if any (up to three openings in a single wall). Click in the desired cell and input your values. Start from Opening 1.

To delete or insert a row, right click on a row header and select the appropriate command from the popup menu.

	Sill Height Hi [m]	Soffit Height Hs [m]	Width [m]	Variation	Adiabatic
Opening 1	3	4	4,2	Temp Dependent	no
Opening 2	0	3	3	Time Dependent	no
Opening 3					

Inside

Layer 1

Layer 2

Layer 3

Layer 4

Outside

OK Cancel

Definició de les característiques del compartiment/ sector d'incendi:

## 3.2 Paràmetres de càlcul amb OZONE

### (1) Definició de les característiques de l'incendi:

#### • Fase de creixement incendi (FGR)

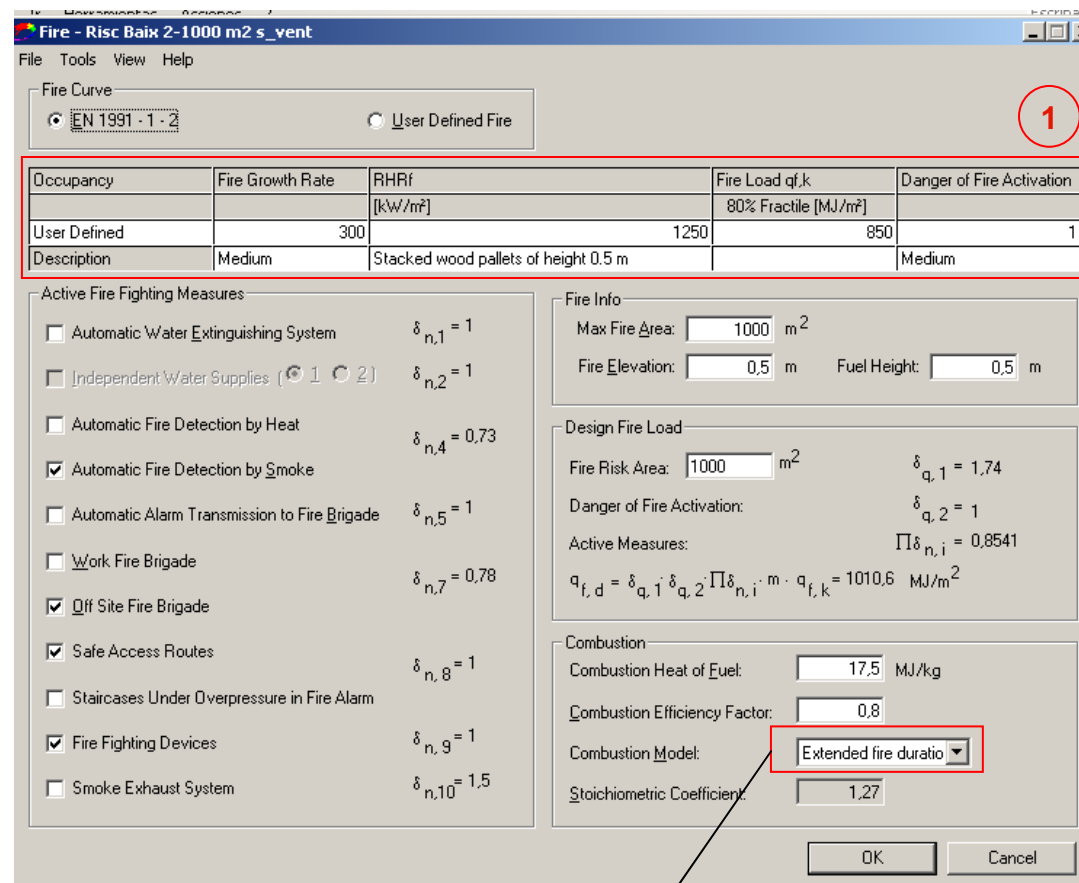
- Ultra ràpida..... 75"
- Ràpida ..... 150" - Risc Mig 3 i 4
- Mitja ..... 300" - Risc Baix 1 i 2
- Lenta ..... 600"

#### Càrrega de Foc (Fire Load $q_{f,k}$ )

- Risc Baix 1- 425 MJ/m<sup>2</sup>
- Risc Baix 2- 850 MJ/m<sup>2</sup>
- Risc Mig 3 – 1275 MJ/m<sup>2</sup>
- Risc Mig 4 – 1700 MJ/m<sup>2</sup>
- Risc Mig 5 – 3400 MJ/m<sup>2</sup>

#### Alliberament calor (RHRf )

- Risc Baix 1- 1250 KW/m<sup>2</sup> (0,5 m palet)
- Risc Baix 2- 1250 KW/m<sup>2</sup> (0,5 m palet)
- Risc Mig 3 – 6000 KW/m<sup>2</sup> (3 m apilats)
- Risc Mig 4 – 6000 KW/m<sup>2</sup> (3 m apilats)
- Risc Mig 5 – 6000 KW/m<sup>2</sup> (3 m apilats)



Extended fire duration

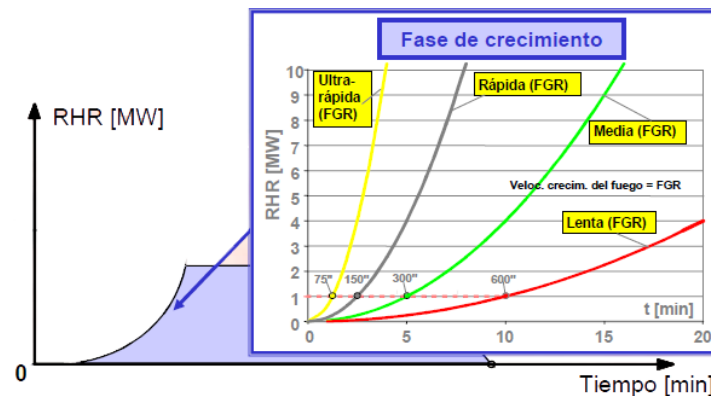
## 3.2 Paràmetres de càlcul amb OZONE

### HRR Tasa d'alliberament de calor considerada:

Stacked Wood Pallets 0,5 m (Risc Baix)

Stacked Wood Pallets 3 m (Risc Mig)

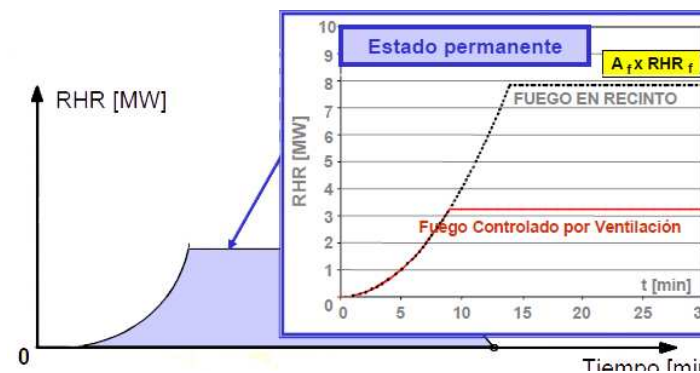
### Fase de Creixement: 300 “



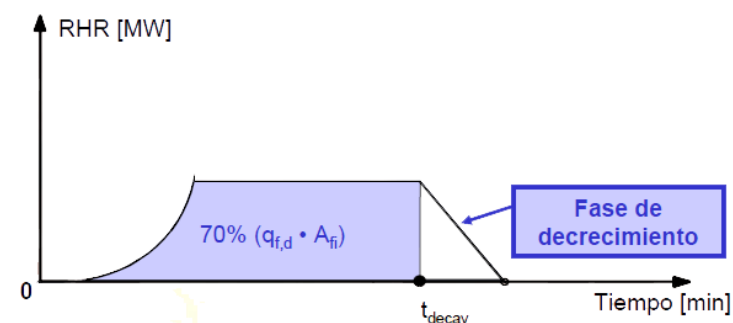
### Estat permanent: (RHR<sub>f</sub>)

Risc Baix - 1250 KW/m<sup>2</sup> x 1000 m<sup>2</sup>= 1250 MW

Risc Mig - 6000 KW/m<sup>2</sup> x 1000 m<sup>2</sup>= 6000 MW



### Fase de decreixement





## 3.2 Paràmetres de càlcul amb OZONE

### Sector sense sistema de ventilació

Obertura de finestres: 300°C

Obertura portes: Arribada bombers 900 segons

### Sector controlat per ventilació

Obertura de finestres: 120 segons

Obertura portes: 120 segons

Parameters - Risc Baix 1-1000 m2 amb vent

File Tools View Help

Air Entrained Model: Heskestad

Temperature Dependent Openings

Temperature Dependent: 300 °C

Stepwise Variation

Temperature °C	% of Total Openings
20	1
150	100
500	100

Linear Variation

Temperature °C	% of Total Openings
20	10
400	50
500	100

Time Dependent Openings

Time sec	% of Total Openings
0	1
900	100

Openings

Radiation Through Closed Openings: 0,8 (0 - 1)

Bernoulli Coefficient: 0,7

Physical Characteristics of Compartment

Initial Temperature: 293 K

Initial Pressure: 100000 Pa

Parameters of Wall Material

Convection Coefficient at the Hot Surface: 25 W/m<sup>2</sup>K

Convection Coefficient at the Cold Surface: 9 W/m<sup>2</sup>K

Calculation Parameters

End of Calculation: 20000 sec

Time Step for Printing Results: 15 sec

Maximum Time Step for Calculation: 5 sec

Extended Results

Fire Design Partial Safety Factor

$\gamma_{M, fi}$ : 1

Default Restore OK Cancel

## 3.2 Paràmetres de càlcul amb OZONE

Definició de les característiques de l'incendi:

### (2) Mesures de PCI del Sector:

- Sistema de detecció de fums
- Recorreguts d'evacuació segurs
- Mitjans de protecció contra incendis
- Servei d'extinció d'incendis

### (3) Informació de l'incendi

-Màxima àrea d'incendi: S'ha analitzat el 25 (250 m<sup>2</sup>), 50 (500 m<sup>2</sup>), 75 (750 m<sup>2</sup>) i 100 % (1000 m<sup>2</sup>) de l'àrea per cada cas.

-S'ha considerat 0,5 m d'alçada de foc

-Alçada del combustible: 0,5 m per Risc Baix i 1 m per risc Mig

Occupancy	Fire Growth Rate	RHRf [kW/m²]	Fire Load qf,k 80% Fractile [MJ/m²]	Danger of Fire Activation
User Defined	300	1250	850	1
Description	Medium	Stacked wood pallets of height 0.5 m		Medium

**Active Fire Fighting Measures:**

- Automatic Water Extinguishing System  $\delta_{n,1} = 1$
- Independent Water Supplies (1 2)  $\delta_{n,2} = 1$
- Automatic Fire Detection by Heat  $\delta_{n,4} = 0,73$
- Automatic Fire Detection by Smoke  $\delta_{n,5} = 1$
- Automatic Alarm Transmission to Fire Brigade  $\delta_{n,7} = 0,78$
- Work Fire Brigade  $\delta_{n,8} = 1$
- Off Site Fire Brigade  $\delta_{n,9} = 1$
- Safe Access Routes  $\delta_{n,10} = 1,5$
- Staircases Under Overpressure in Fire Alarm
- Fire Fighting Devices
- Smoke Exhaust System

**Fire Info:**

Max Fire Area: 1000 m<sup>2</sup>

Fire Elevation: 0,5 m Fuel Height: 0,5 m

**Design Fire Load:**

Fire Risk Area: 1000 m<sup>2</sup>  $\delta_{q,1} = 1,74$

Danger of Fire Activation:  $\delta_{q,2} = 1$

Active Measures:  $\prod \delta_{n,i} = 0,8541$

$q_{f,d} = \delta_{q,1} \delta_{q,2} \prod \delta_{n,i} \cdot q_{f,k} = 1010,6 \text{ MJ/m}^2$

**Combustion:**

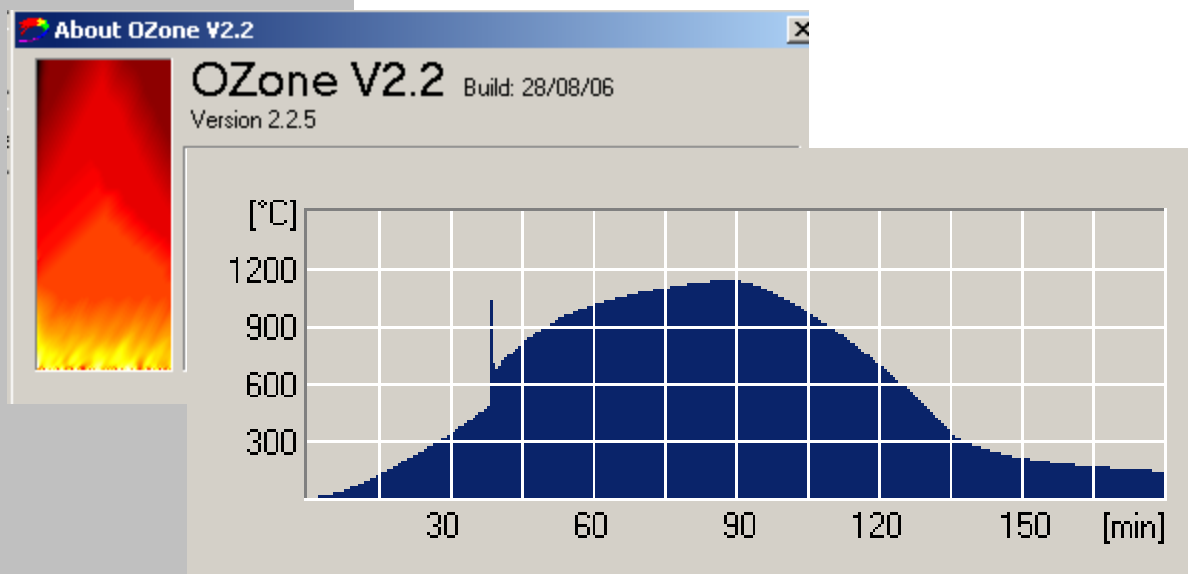
Combustion Heat of Fuel: 17,5 MJ/kg

Combustion Efficiency Factor: 0,8

Combustion Model: Extended fire duration

Stoichiometric Coefficient: 1,27

### 3. 3 Corbes d'incendi resultants del model de zona (1d)



### 3.3 Corbes d'incendis resultats del model de zona 1D

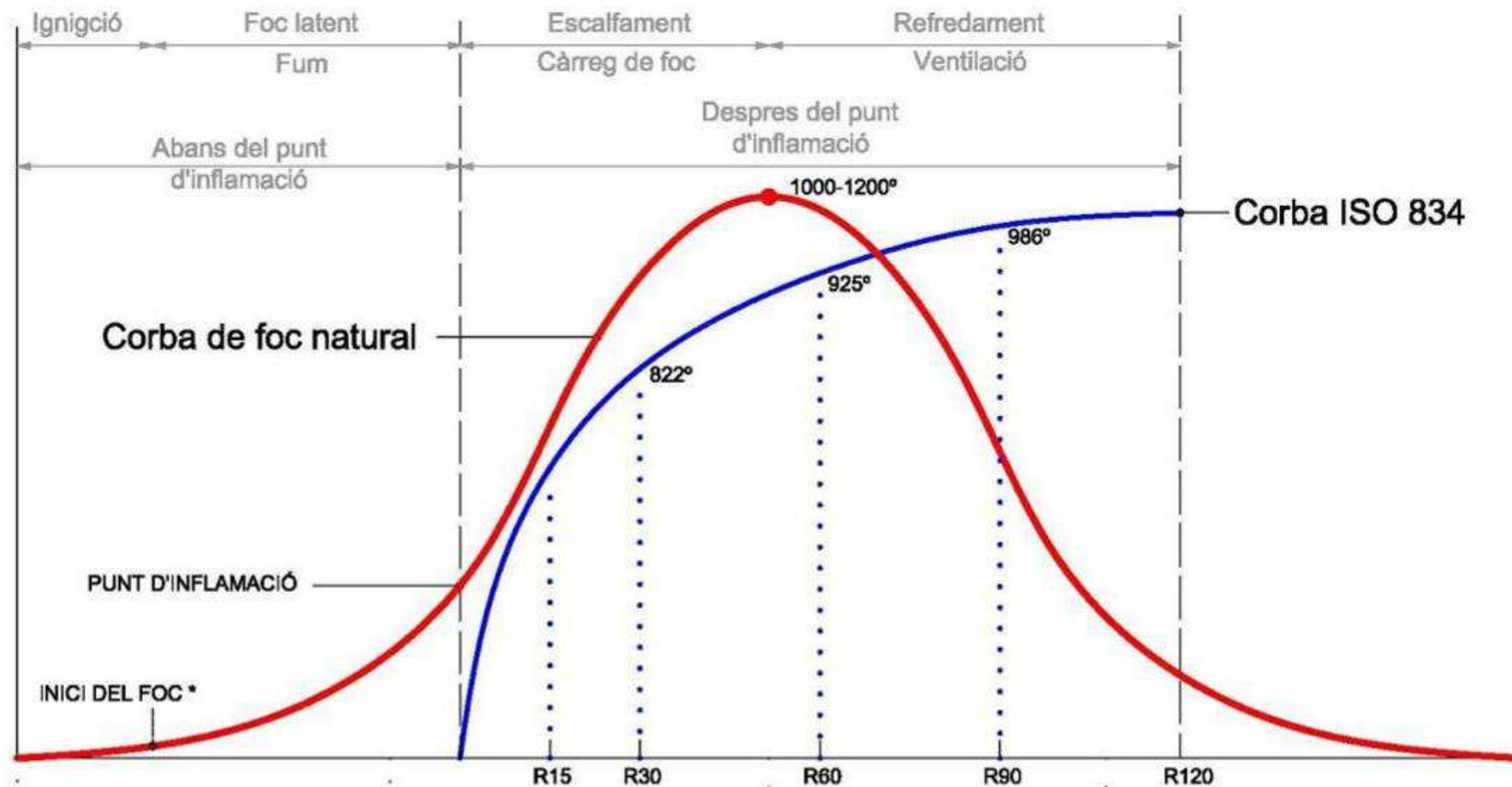
**Les corbes d'incendi resultants de l'estudi 1D amb OZONE, es poden fer servir com a referència general amb les següents excepcions:**

- Les condicions geomètriques de la configuració poden fer variar els resultats de la corba, la nau estudiada 1000 m<sup>2</sup> representa una situació promig i no es extrapolable a totes les superfícies. Tanmateix s'observa increment de diferències per nivells de risc superiors a Risc Mig 3.
- La disposició de les mercaderies i si es tracta de zona de producció o emmagatzematge pot fer que els efectes de l'incendi (radiació i convecció) es concentrin en una part de la nau. L'alçada de les mercaderies respecte l'alçada total de la nau pot tenir un efecte molt desfavorable per l'acció directe de les flames.
- L'existència de superfície aerodinàmica o de ventilació i extracció de fums modifica significativament els resultats



### 3.3 Corbes d'incendis resultats del model de zona 1D

Corba tipus assaig de resistència al foc ISO 834



### 3.3 Corbes d'incendis resultats del model de zona 1D

La taula que es mostra a continuació representa tots els casos que s'han simulat amb OZONE de risc Baix 1 i el risc mig 5.

Nivell de risc		SENSE extracció de fums				AMB extracció de fums			
		25%	50%	75%	100%	25%	50%	75%	100%
BAIX	1	•	•	•	•	•	•	•	•
	2	•	•	•	•	•	•	•	•
MIG	3	•	•	•	•	•	•	•	•
	4	•	•	•	•	•	•	•	•
	5	•	•	•	•	•	•	•	•



Simulat i comparat amb resultats de Fire Dynamic Simulator

### 3.3 Corbes d'incendis resultats del model de zona 1D

Per tal de definir el model de combustió de l'incendi haurem de tenir en compte:

- Tipus de combustible (1D)
- Oxigen disponible (1D)
- Disposició del combustible (apilament 3D)

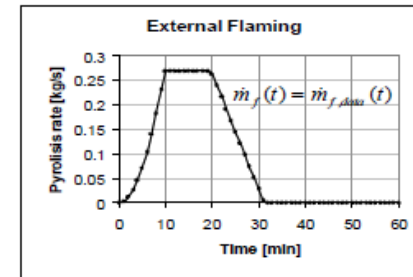


Figure 23 Pyrolysis Rate Curve



Material en procés de combustió



Material parcialment cremat

### 3.3 Corbes d'incendis resultats del model de zona 1D

Per tal de definir l'àrea d'afectació de l'incendi caldrà tenir en compte:

- Mitjans PCI disponibles, per exemple ruixadors
- Tipus de material i disposició (distància de propagació)
- Temps d'intervenció dels Bombers

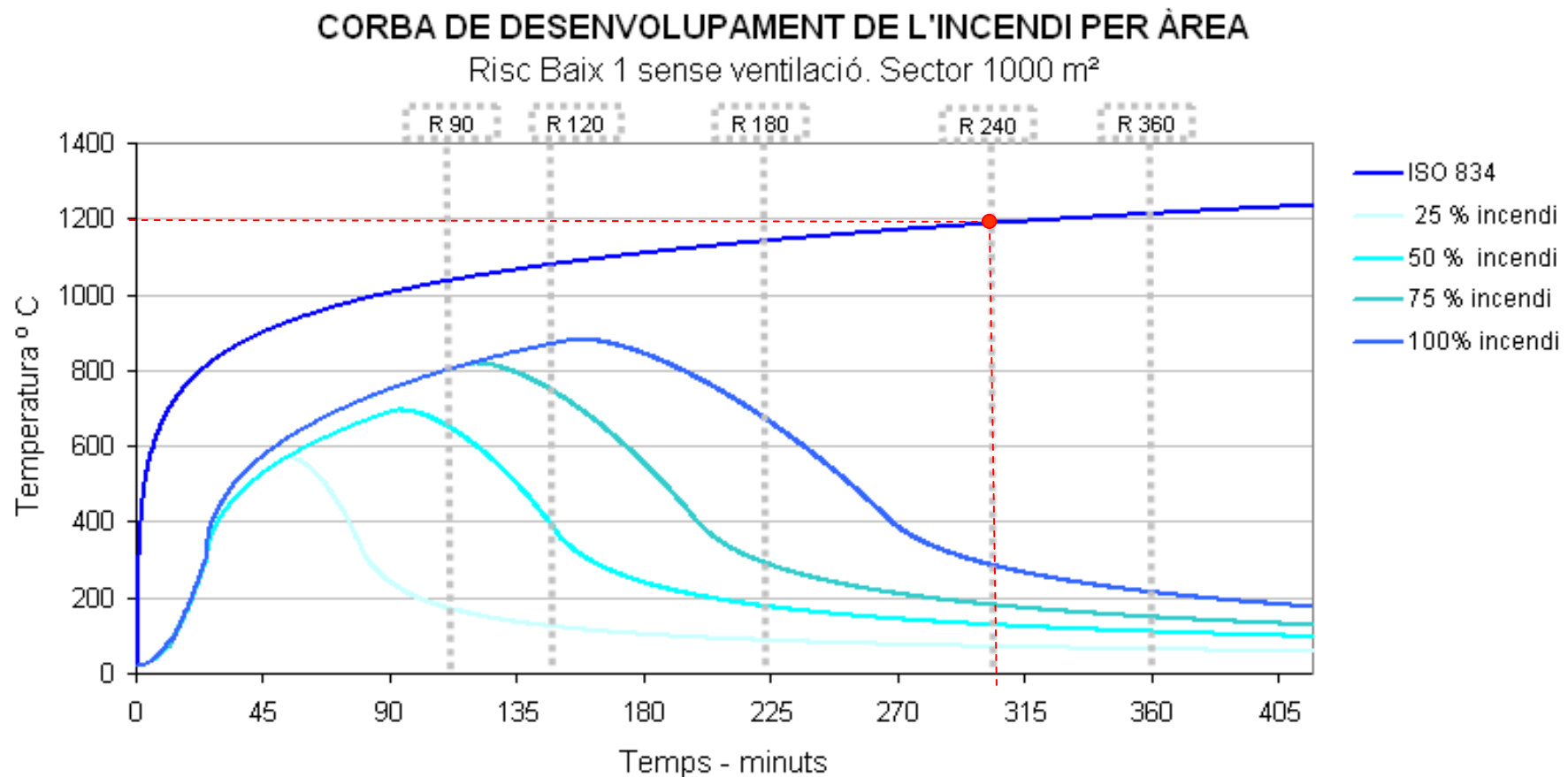




### 3.3 Corbes d'incendis resultats del model de zona 1D

#### RISC BAIX 1- sense ventilació

Segons l'anàlisi realitzat una estructura amb nivell de risc Baix 1 (incendi cel·lulòsic), amb les condicions de contorn considerades i protegida R 240 podria superar en desenvolupament total de l'incendi sense produir col·lapse



### 3.3 Corbes d'incendis resultats del model de zona 1D

Resistència al foc màxima assolible per una estructura en base a assaig normalitzat RD 312/2005 i RD 110/2008.

#### CLASIFICACIONES

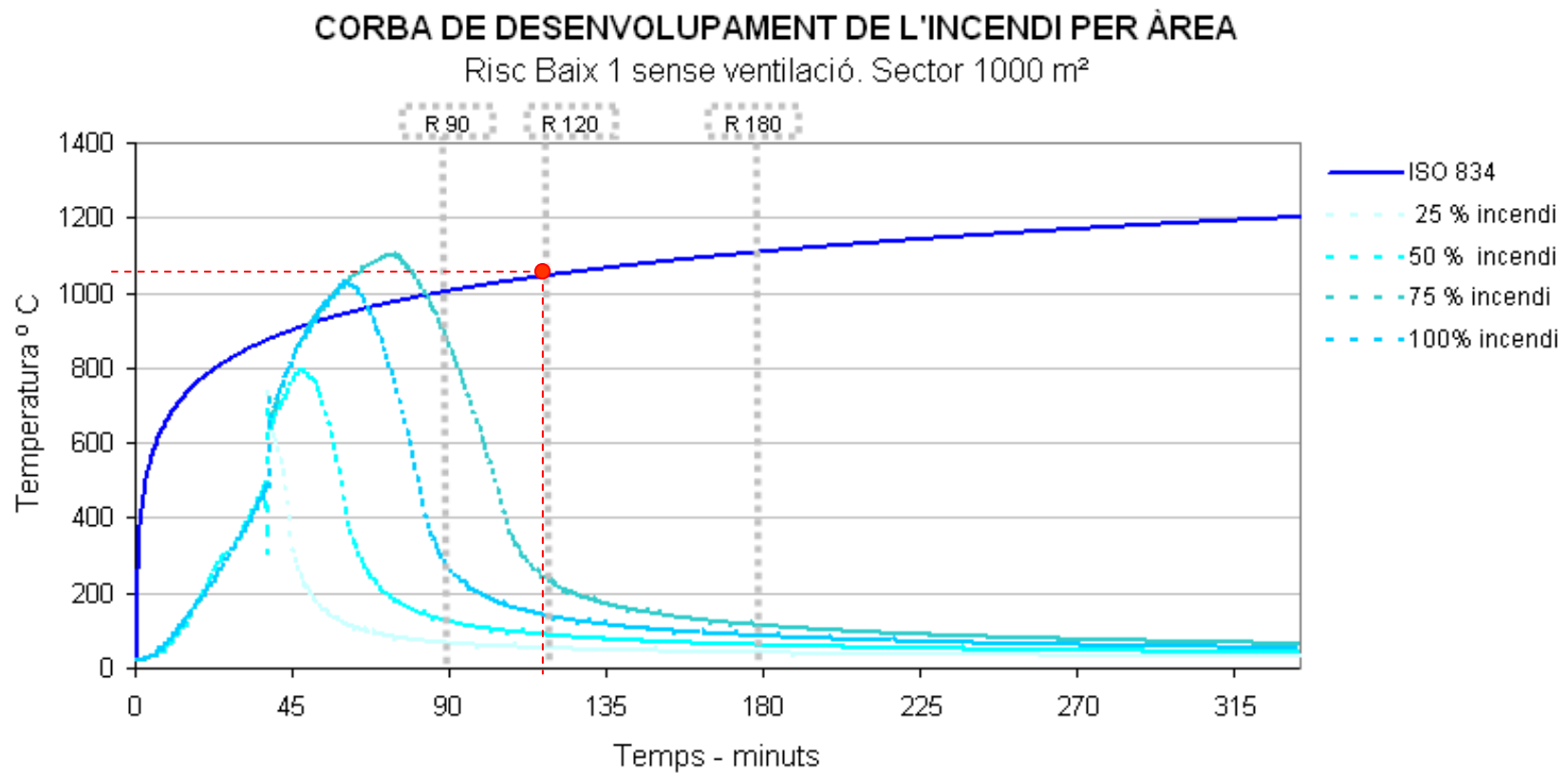
##### 1. Elementos portantes sin funciones de separación contra el fuego

Productos	Paredes, suelos, tejados, vigas, columnas, balcones, escaleras, pasarelas.									
Norma(s)	UNE-EN 13501-2:2004; UNE-EN 1365, partes 1 a 4:2000; EN 1365-5,6; EN 1992-1, 2; EN 1993-1,2; EN 1994-1, 2; EN 1995-1, 2; EN 1996-1,2; EN 1999-1,2 (véase apartado 3.3 de este anexo).									
Clasificación: -										
R	15	20	30	45	60	90	120	180	240	360
Comentarios	-									

### 3.3 Corbes d'incendis resultats del model de zona 1D

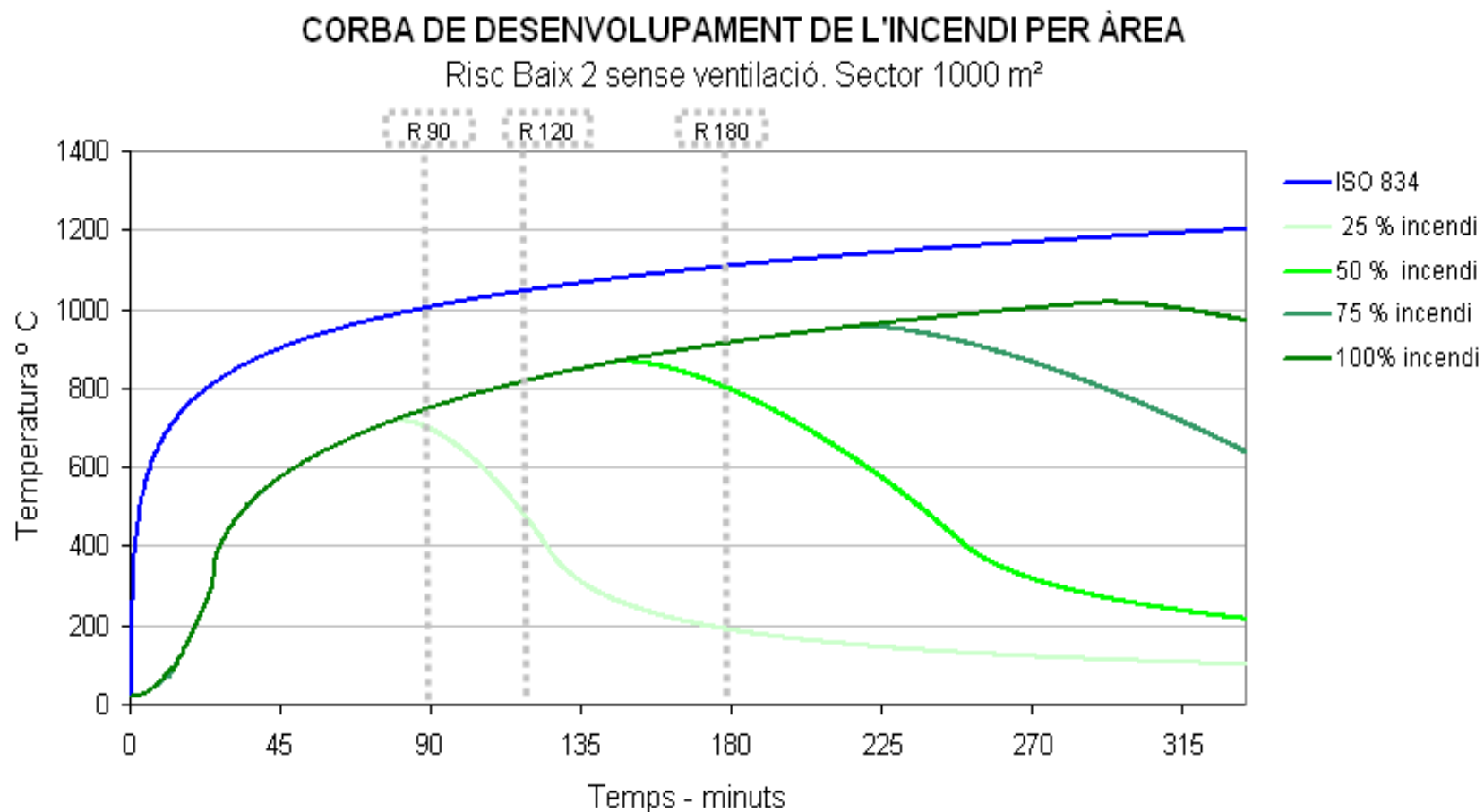
#### **RISC BAIX 1** amb ventilació

L'ús de sistemes de ventilació accelera el desenvolupament de l'incendi, però la càrrega de foc amb una resistència al foc d'R 120 permetria superar l'incendi sense produir col·lapse.



### 3.3 Corbes d'incendis resultats del model de zona 1D

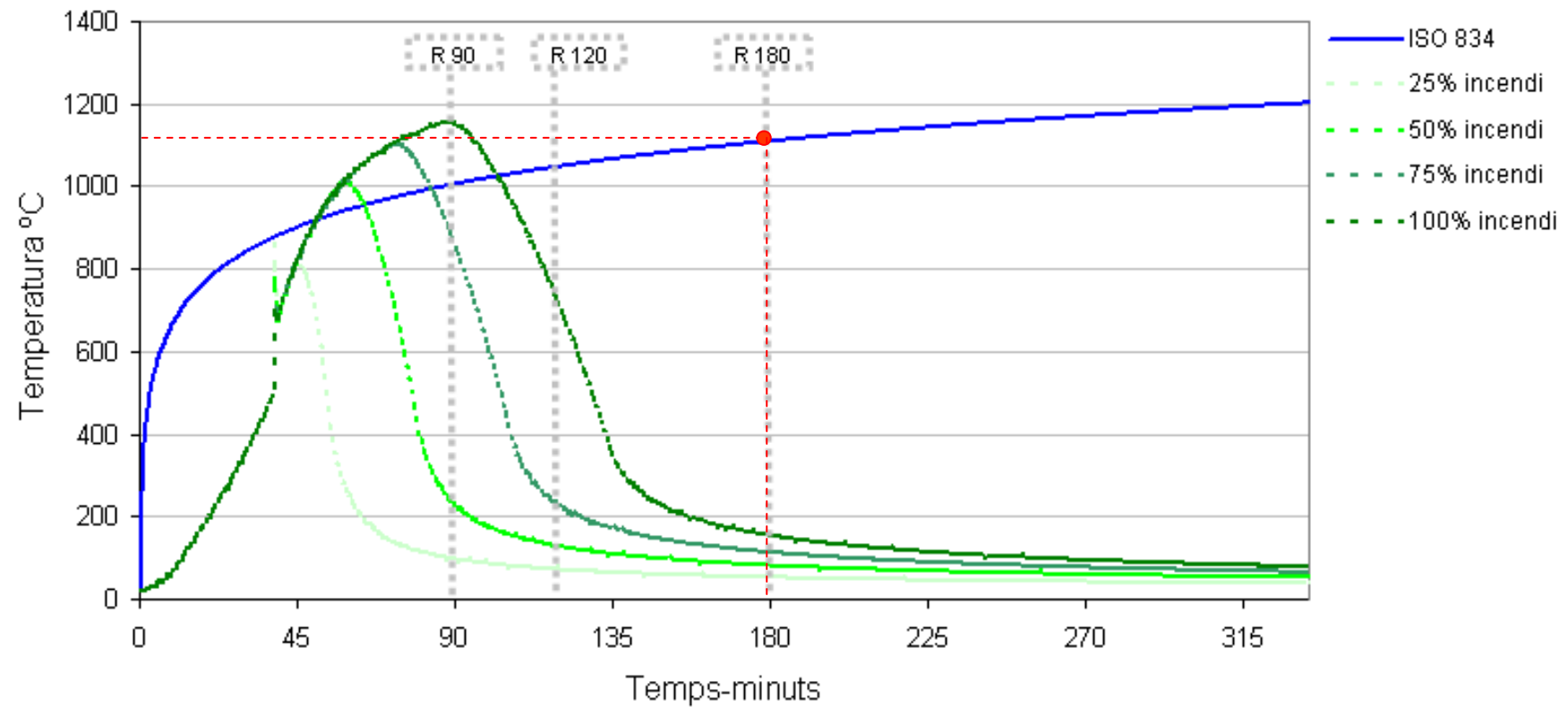
## RISC BAIX 2 sense ventilació



### 3.3 Corbes d'incendis resultats del model de zona 1D

## RISC BAIX 2 amb ventilació

CORBA DE DESENVOLUPAMENT DE L'INCENDI PER ÀREA  
Risc Baix 2 amb ventilació. Sector 1000 m<sup>2</sup>

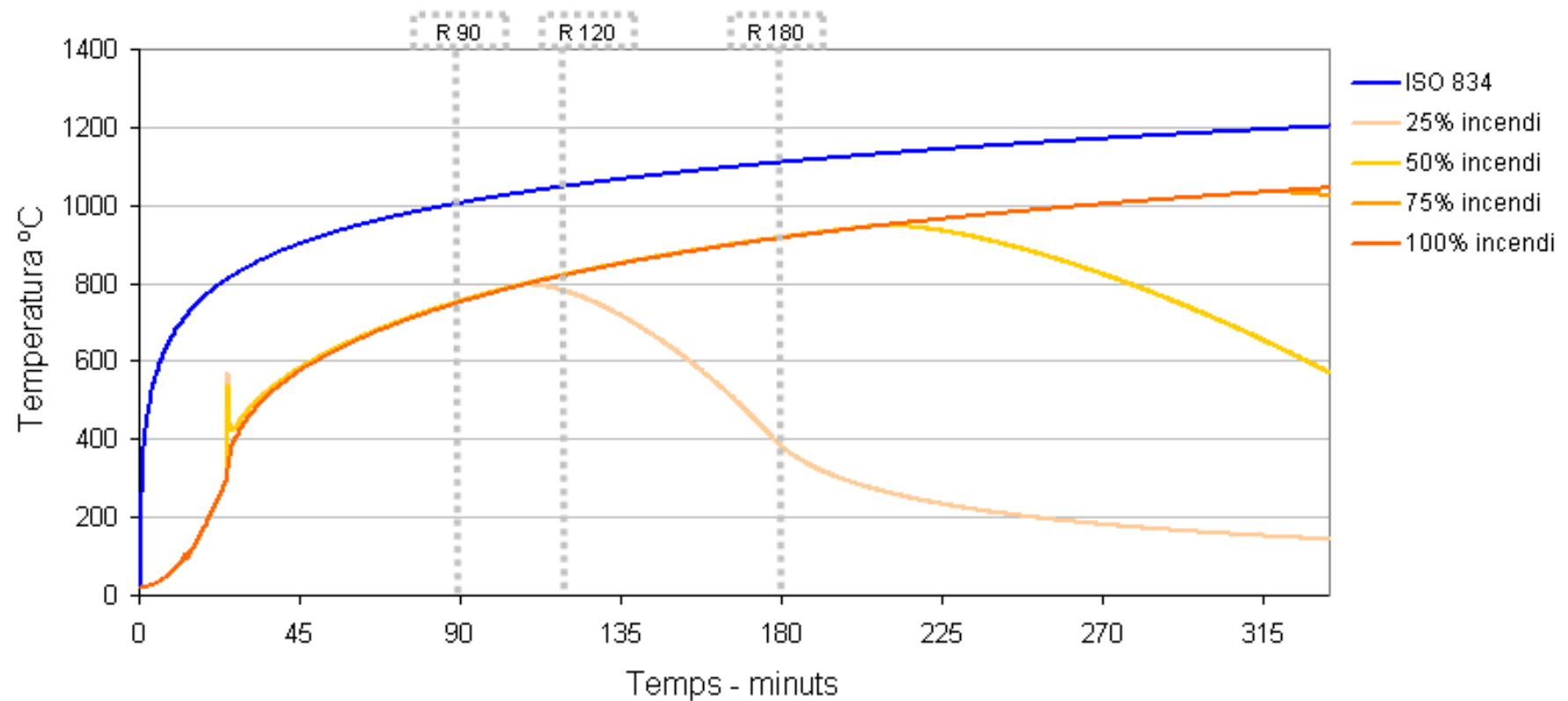




### 3.3 Corbes d'incendis resultats del model de zona 1D

## RISC MIG 3 sense ventilació

CORBA DE DESENVOLUPAMENT DE L'INCENDI PER ÀREA  
Risc Mig 3 sense ventilació. Sector 1000 m<sup>2</sup>



### 3.3. Corbes d'incendis resultats del model de zona 1D

Exemple sinistre: Risc Mig 3 sense ventilació i 75%

**Lloc:** Sant Sadurní d'Anoia

**Ús:** Emmagatzematge producte final caves

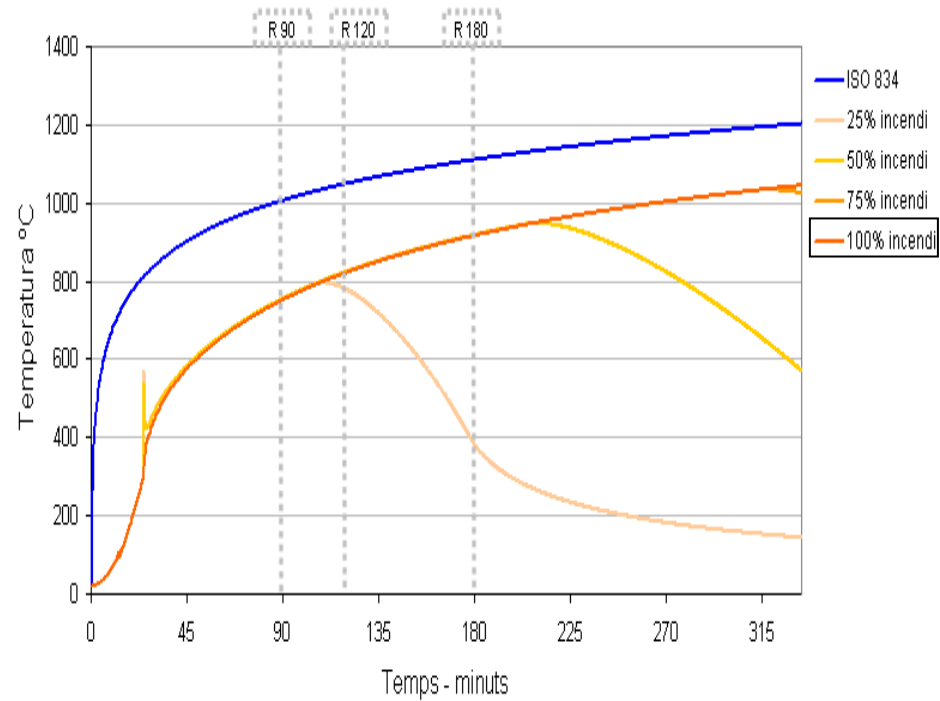
**Configuració:** Tipus C

**Tipus estructura:** Metàl·lica sense protegir

**Afectació:** Col·lapse estructura

**Àrea incendi:** 2000 m<sup>2</sup>. Combustió: 75 %

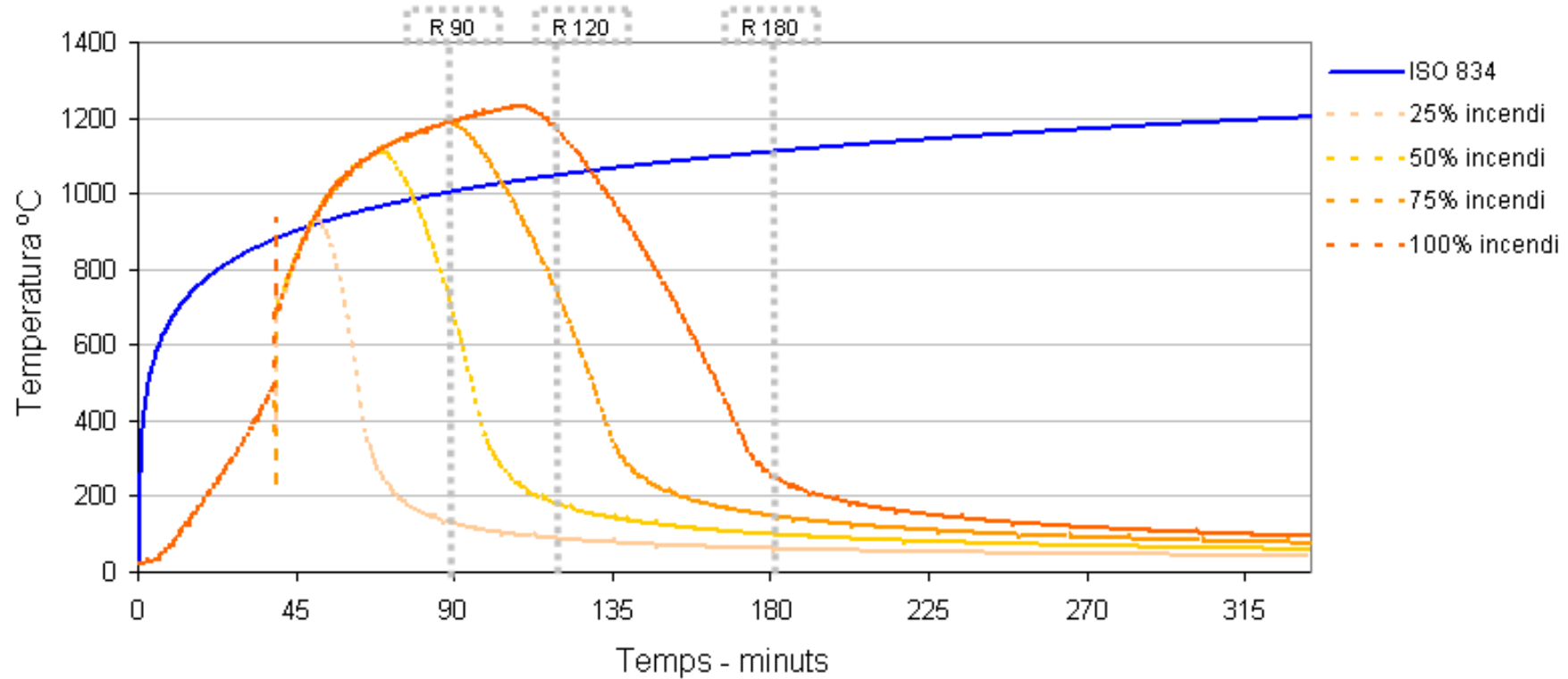
Risc Mig 3 sense ventilació. Sector 1000 m<sup>2</sup>



### 3.3. Corbes d'incendis resultats del model de zona 1D

## RISC MIG 3 amb ventilació

CORBA DE DESENVOLUPAMENT DE L'INCENDI PER ÀREA.  
Risc Mig 3 amb ventilació. Sector 1000 m<sup>2</sup>

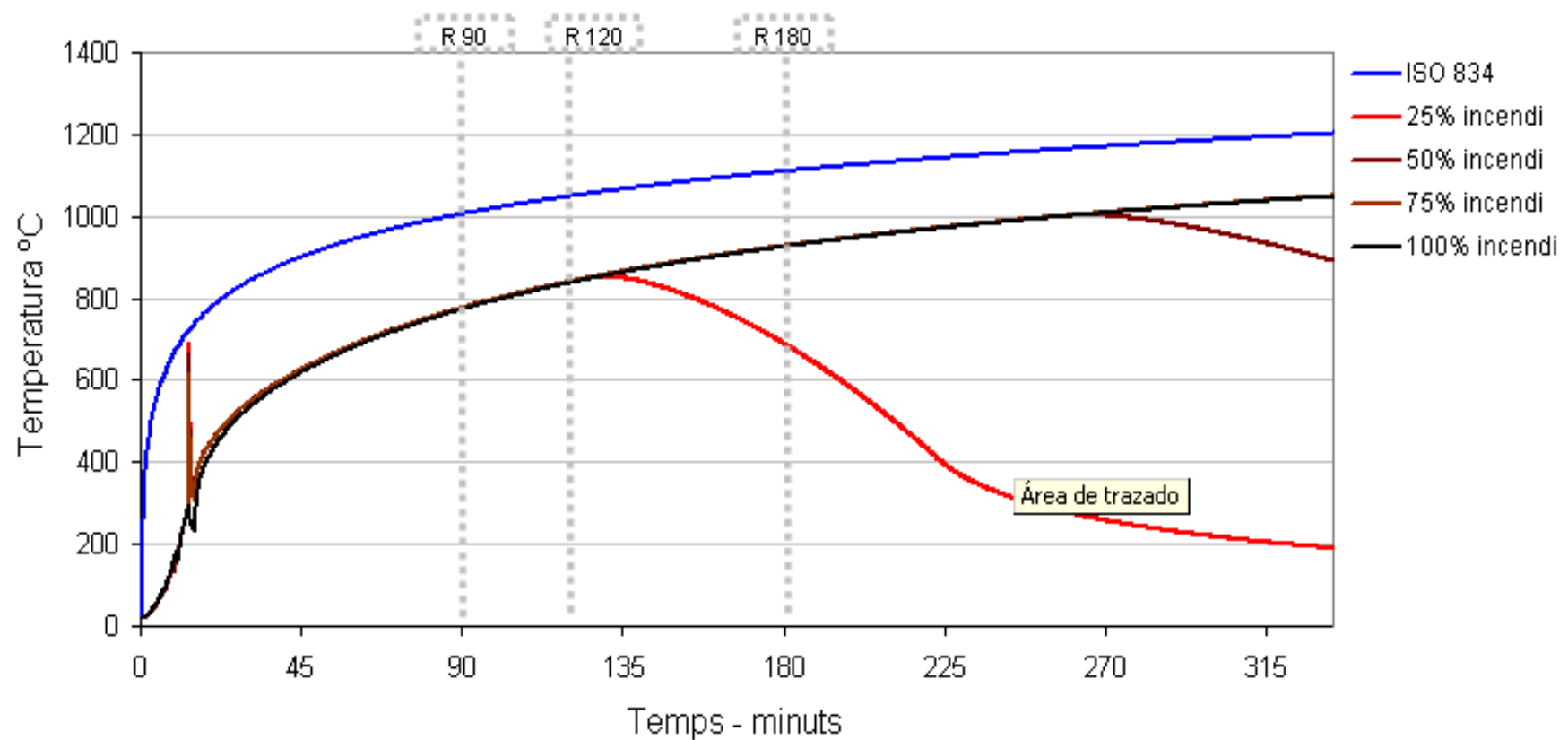


### 3.3 Corbes d'incendis resultats del model de zona 1D

#### RISC MIG 4 sense ventilació

##### CORBA DE DESENVOLUPAMENT DE L'INCENDI PER ÀREA.

Risc Mig 4 sense ventilació. Sector 1000 m<sup>2</sup>

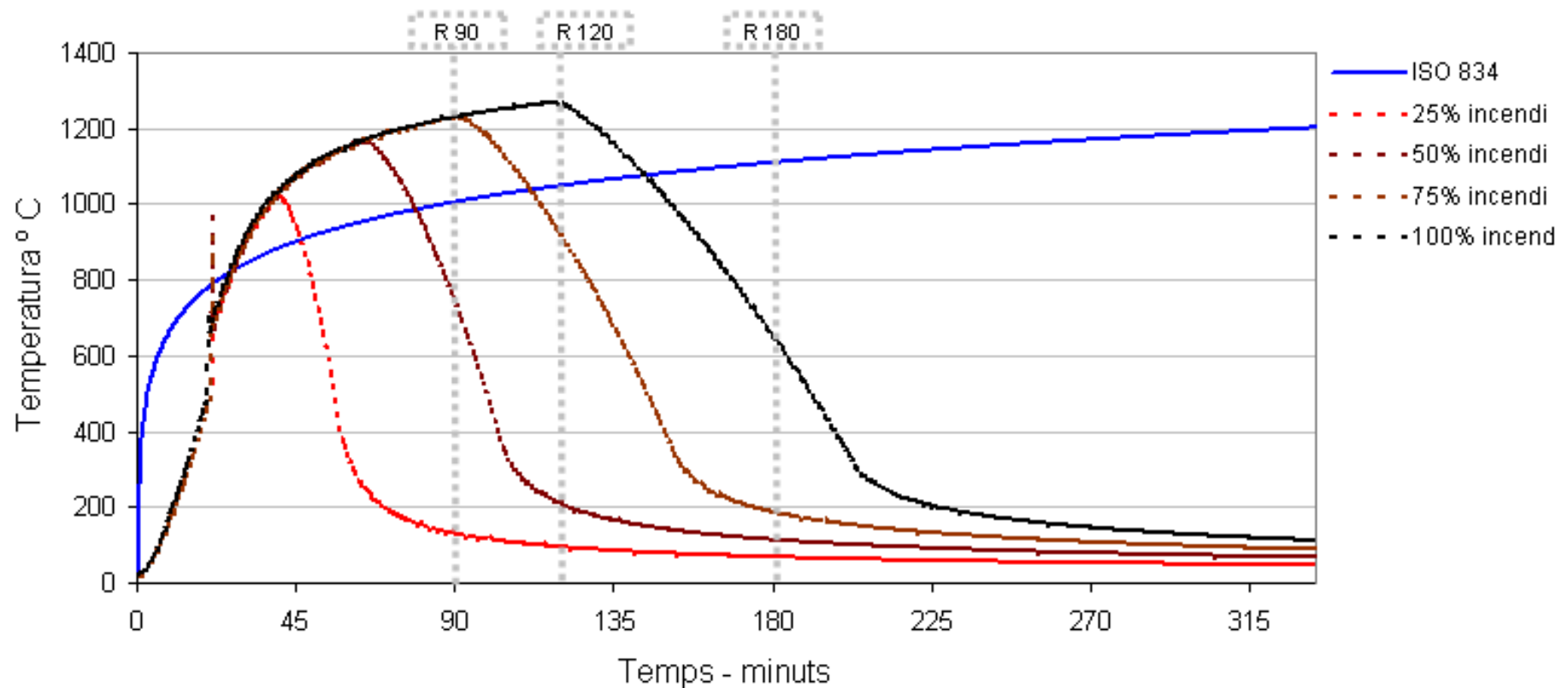


### 3.3. Corbes d'incendis resultats del model de zona 1D

#### RISC MIG 4 amb ventilació

##### CORBA DE DESENVOLUPAMENT DE L'INCENDI PER ÀREA

Risc Mig 4 amb ventilació. Sector 1000 m<sup>2</sup>

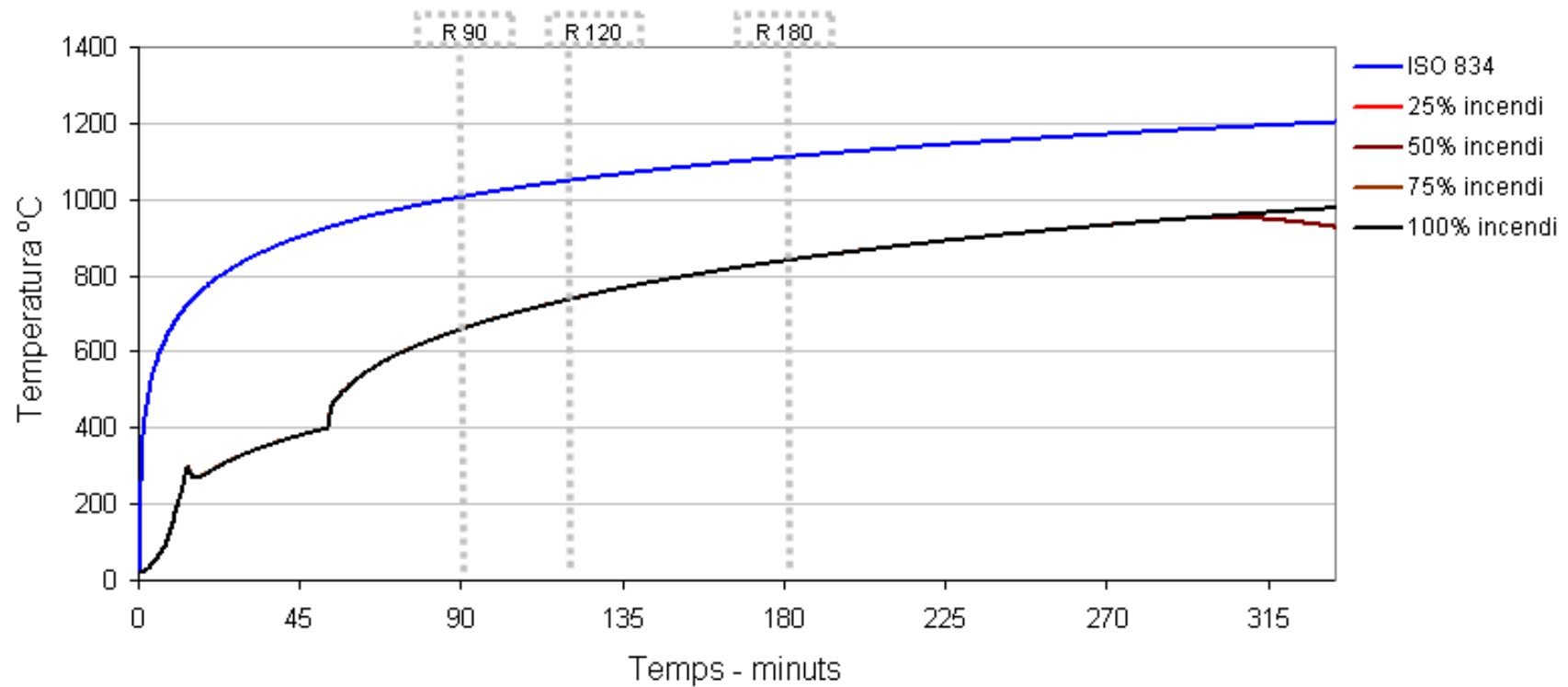




### 3.3. Corbes d'incendis resultats del model de zona 1D

## RISC MIG 5 sense ventilació

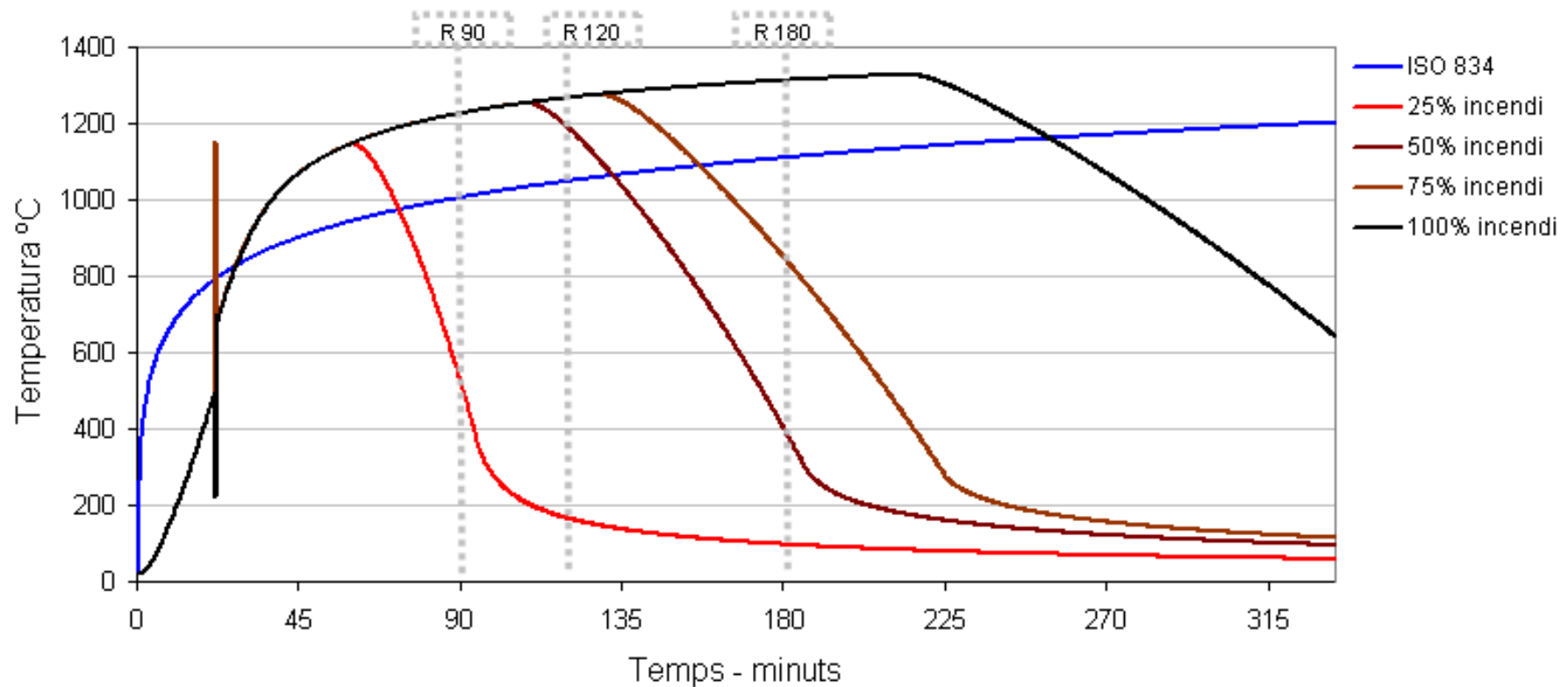
CORBA DE DESENVOLUPAMENT DE L'INCENDI PER ÀREA.  
Risc Mig 5 sense ventilació. Sector 1000 m<sup>2</sup>



### 3.3. Corbes d'incendis resultats del model de zona 1D

## RISC MIG 5 amb ventilació

CORBA DE DESENVOLUPAMENT DE L'INCENDI PER ÀREA.  
Risc Mig 5 amb ventilació. Sector 1000 m<sup>2</sup>



### 3.3. Corbes d'incendis resultats del model de zona 1D

#### EXEMPLE INCENDI RISC MIG 5

**Lloc:** Gavà

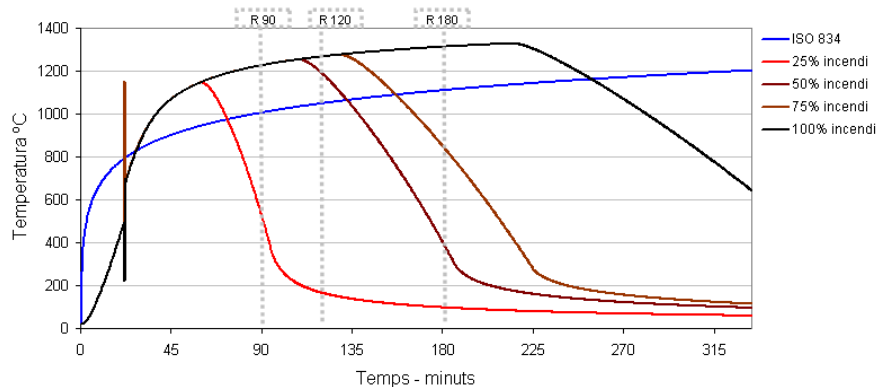
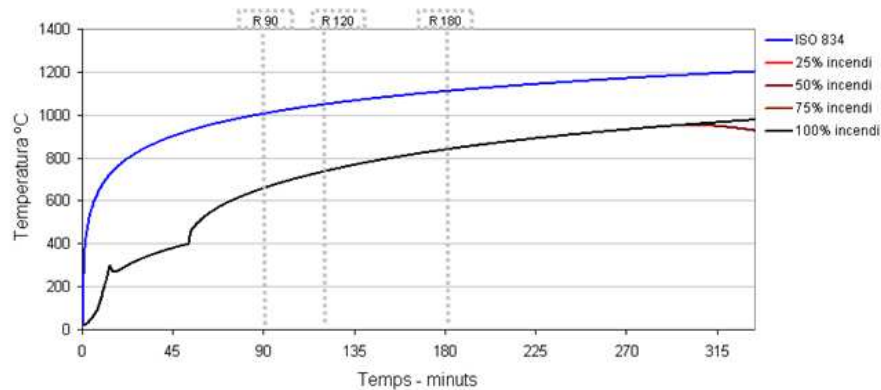
**Ús:** Emmagatzematge divers

**Configuració:** Tipus A

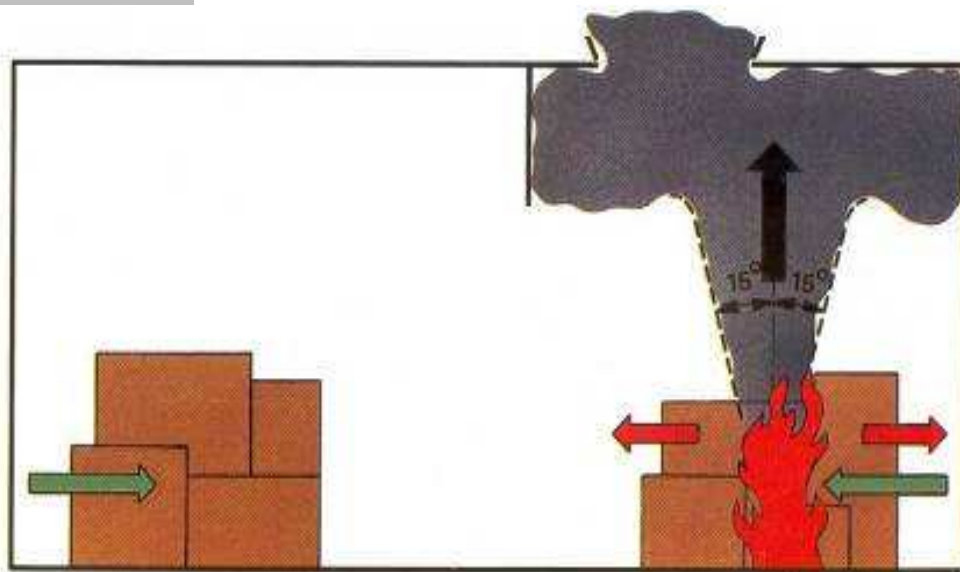
**Tipus estructura:** Prefabricada formigó

**Afectació:** Col·lapse estructura coberta i mitgeres

**Àrea incendi:** 480 m<sup>2</sup>. Combustió: 75 %

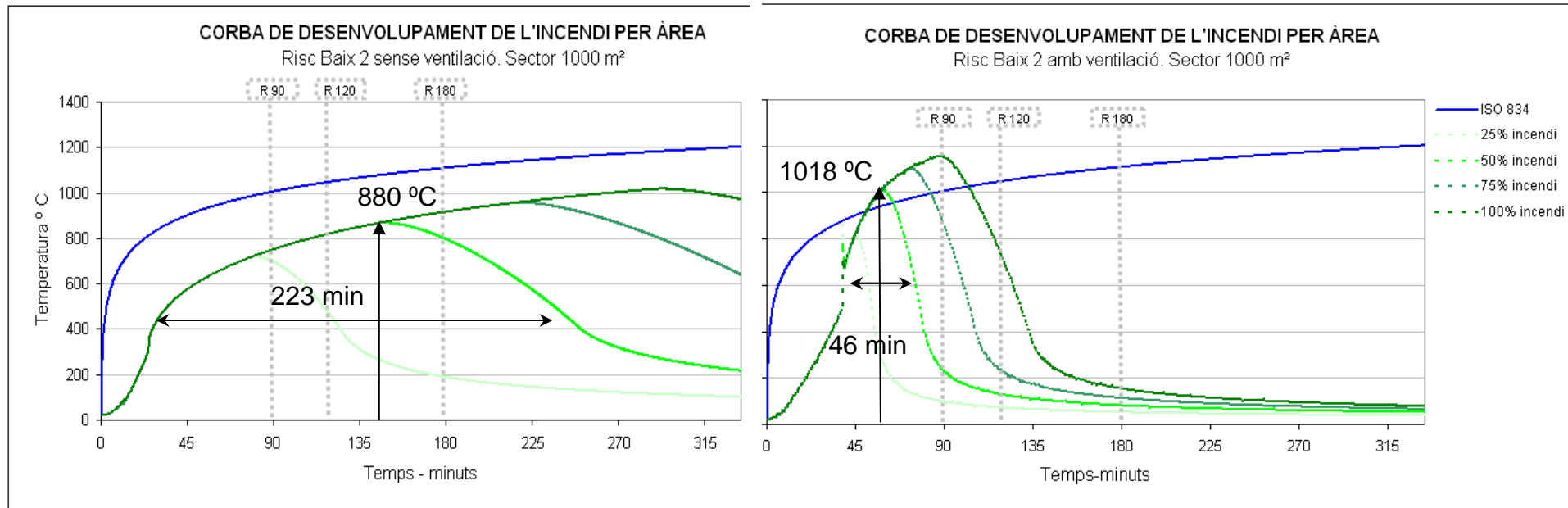


### 3. 4. Control tèrmic de l'estructura amb sistemes d'extracció de fums



### 3.4. Control tèrmic de l'estructura amb l'ús de sistemes de ventilació

#### CONTROL TÈRMIC DE L'ESTRUCTURA AMB SISTEMES DE VENTILACIÓ

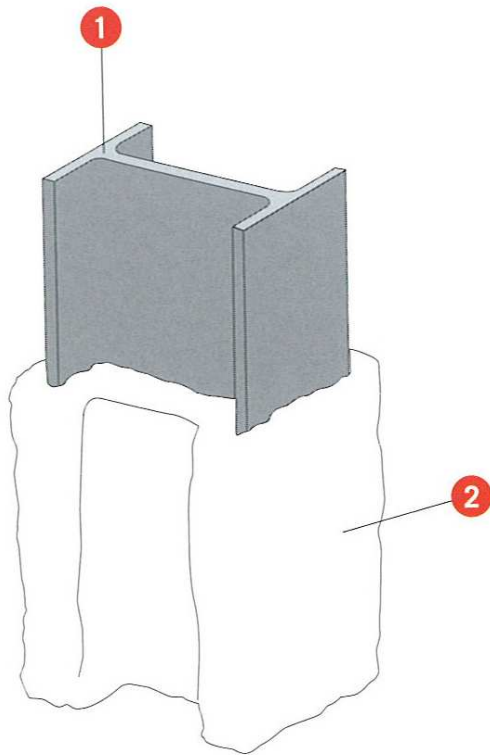


La comparació d'incendis amb i sense ventilació, ens permet observar com la disponibilitat d'oxigen del combustible i una major dissipació tèrmica provoquen un desenvolupament ràpid de l'incendi amb temperatures màximes que s'incrementen fins a un 20% que poden superar els 1000 °C però el decreixement tèrmic és molt més ràpid.

Les corbes superen les temperatures màximes de la Corba ISO 834 però, eviten l'assoliment de la temperatura crítica d'una estructura si aquesta està protegida.



## 3.5. Control tèrmic de l'estructura amb protecció passiva



**3.5.1 Estructura metàl·lica**

**3.5.2 Estructura de formigó armat**

**3.5.3 Estructura formigó prefabricat.**

### ***3.5.1 Anàlisi tèrmic estructura metàl·lica***

Per a la comprovació dels efectes tèrmic dels incendis tipus sobre l'estructura metàl·lica s'han seguit els següents passos:

1. S'ha seleccionat el gruix tipus d'un producte comercial de Morter perlític, segons especificacions de l'assaig del fabricant i s'han comprovat amb l'ELEFIR de forma analítica.
2. Amb el gruix obtingut s'ha calculat la temperatura de l'acer sotmès a l'acció de l'incendi tipus calculat sobre les corbes resultants OZONE.
3. S'ha classificat el resultat obtingut en taules tenint en compte els següents llindars:



T màx > 550 °C.

Col·lapse molt provable en la majoria dels perfils normalitzats sotmesos a flexió i flexo-compressió (bigues).



T màx 500-550 °C.

Col·lapse poc provable en la majoria de perfils normalitzats sotmesos a flexo compressió. Possible col·lapse d'alguns perfils sotmesos a flexo-compressió (pilars).



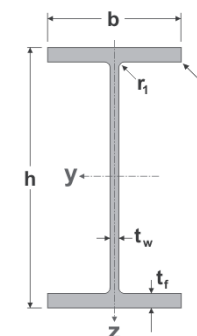
T màx < 500 °C.

Col·lapse improbable

#### Taules de protecció PRODUCTE COMERCIAL – Projectat Perlita vermiculita

Perfil metàl·lic que es mantindrà a una temperatura inferior a 550 °C en el transcurs d'un incendi

Tipus ISO 834.



IPE 600

Tabla A.2.8: Tabla para la temperatura de diseño de 550 °C según ENV 13381-4.

Elemento estructural de acero	Clasificación de resistencia al fuego							
	R15	R30	R45	R60	R90	R120	R180	R240
Factor de sección $A_m/V$ (m <sup>-1</sup> )	Espesor mínimo (mm) para mantener la temperatura por debajo de la temperatura de diseño de 550 °C							
65	10	10	10	10	12	17	26	36
70	10	10	10	10	13	18	27	37
75	10	10	10	10	13	18	28	38
80	10	10	10	10	14	19	29	40
85	10	10	10	10	14	20	30	41
90	10	10	10	10	15	20	31	42
95	10	10	10	10	15	21	32	43
100	10	10	10	10	16	21	33	44
105	10	10	10	10	16	22	33	45
110	10	10	10	11	17	22	34	46
115	10	10	10	11	17	23	35	47
120	10	10	10	11	17	23	35	47
125	10	10	10	11	18	24	36	48
130	10	10	10	12	18	24	36	49
135	10	10	10	12	18	24	37	50
140	10	10	10	12	18	25	37	50

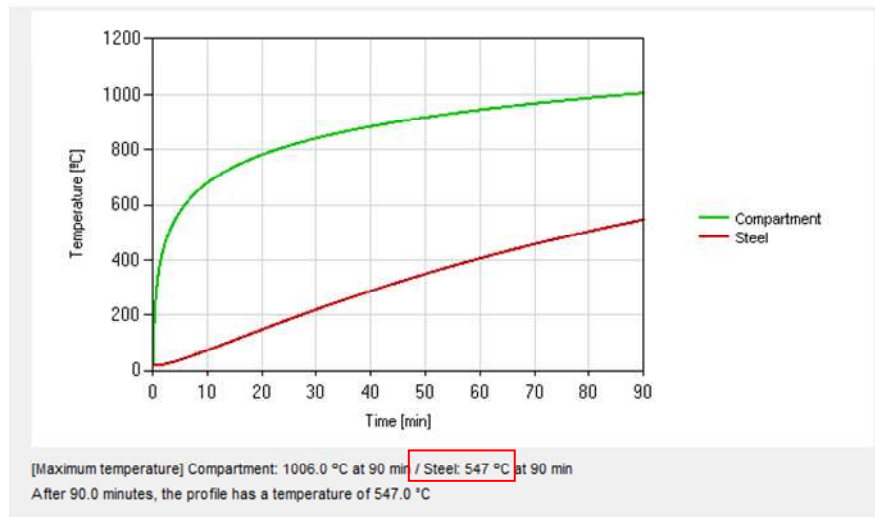
### 3.5. Temperatura crítica assolida per l'estructura

### Estructura metàl·lica

Comparació producte comercial respecte càlculs analítics ELEFIR

PRODUCTE COMERCIAL – Projectat Perlita vermiculita < 550 °C

#### R90 / 18 mm Temperatura 547 °C

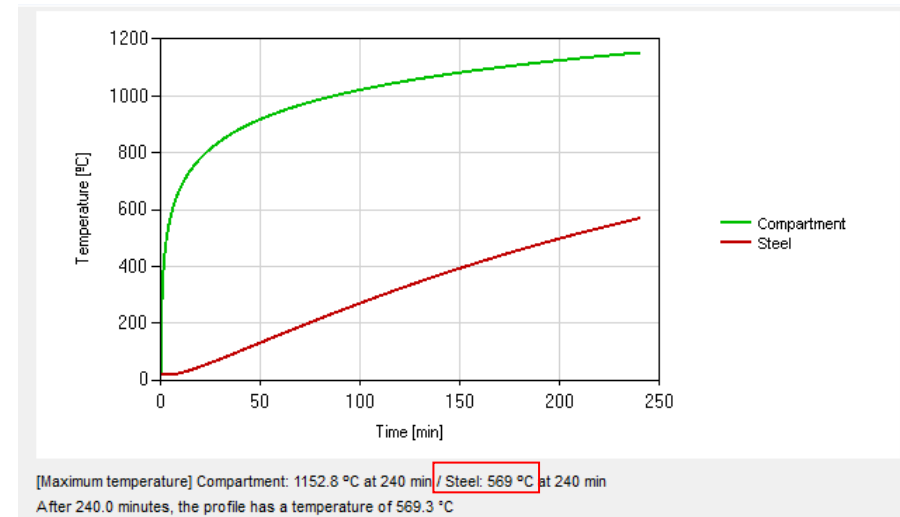


#### Material Elefir -Perlite

Characteristics:	
Thermal conductivity:	$\lambda_p = .12 \text{ W/mK}$
Unit mass:	$\rho_p = 350 \text{ kg/m}^3$
Specific heat:	$c_p = 1200 \text{ J/kgK}$
Moisture content:	$p = 15 \%$

Modify

#### R240 / 49 mm Temperatura 569 °C



#### Material Elefir -Perlite

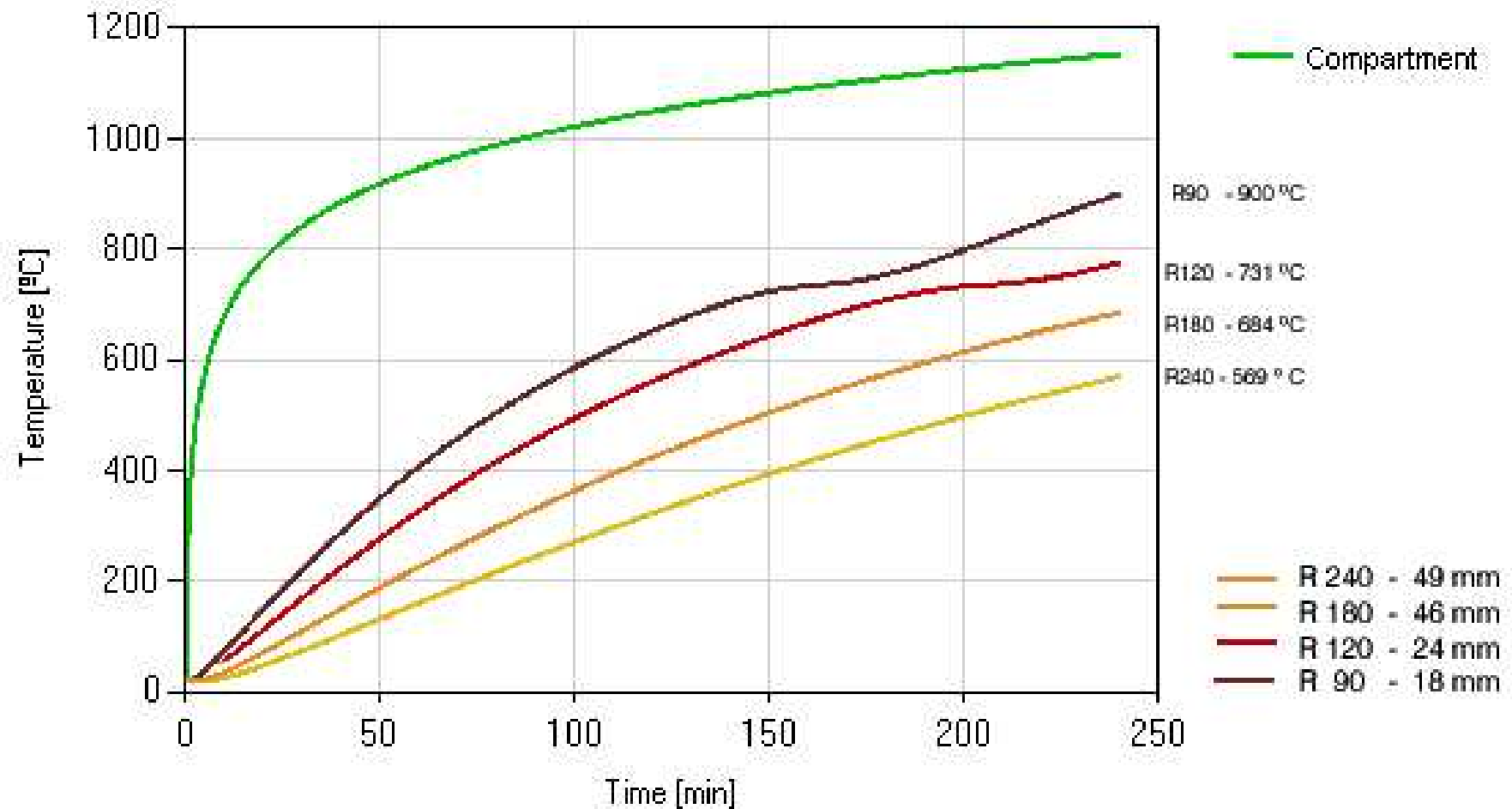
Characteristics:	
Thermal conductivity:	$\lambda_p = .12 \text{ W/mK}$
Unit mass:	$\rho_p = 350 \text{ kg/m}^3$
Specific heat:	$c_p = 1200 \text{ J/kgK}$
Moisture content:	$p = 15 \%$

Modify

El model teòric per a R240 es comporta 19°C (3%) més desfavorable que l'assaig del material



Càlculs de transferència tèrmica d'un perfil IPE 600 protegit amb morter perlític calculat amb el programa ELEFIR EN. A Mesura que s'augmenta l'aïllament les temperatures de l'element metàl·lic es redueixen.



## 2.5. Temperatura crítica assoldida per l'estructura

## Estructura metàl·lica


### RISC BAIX 1

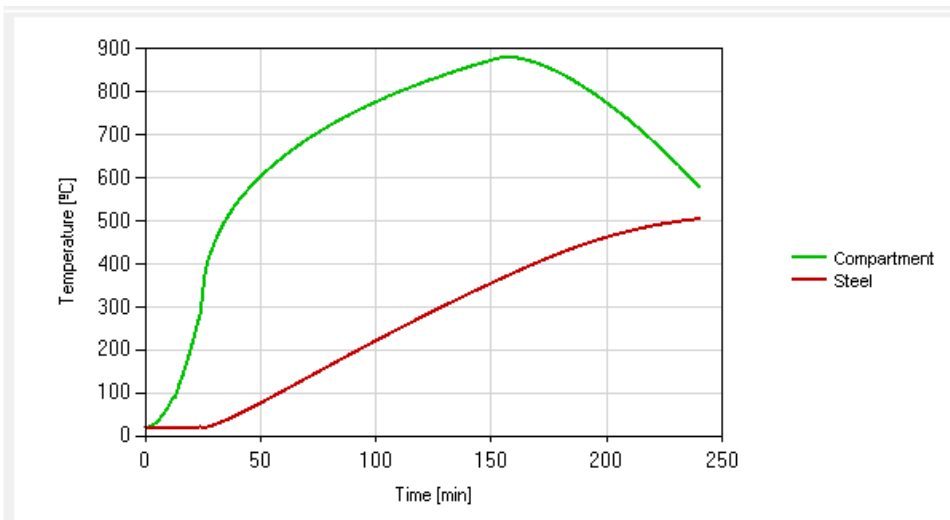
TIPUS A - R 90

Sector 1000 m<sup>2</sup> desenvolupat 100% - Sense i amb extracció de fums

Calculat amb el programa ELEFIR EN

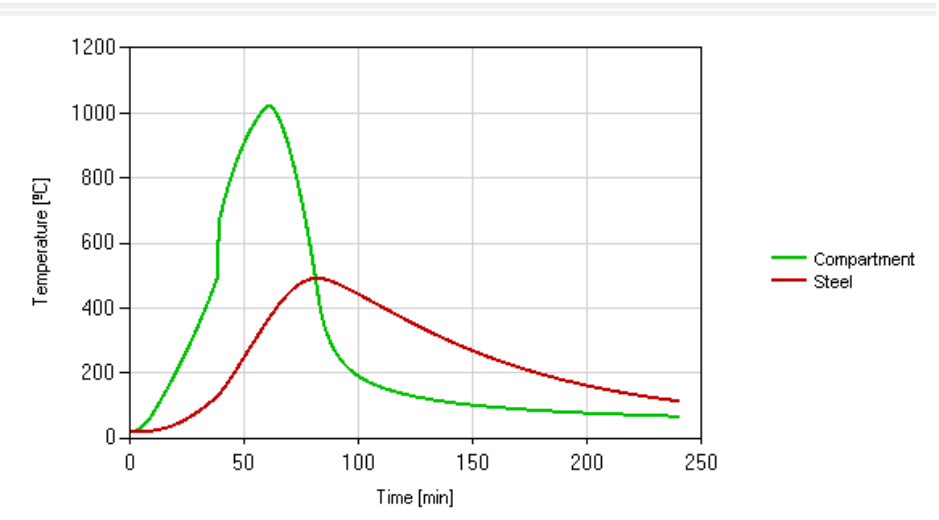
 R 180 - Sense extracció de fums

 R 60 - Amb extracció de fums



[Maximum temperature] Compartment: 881.0 °C at 155 min / Steel: 505 °C at 240 min  
After 240.0 minutes, the profile has a temperature of 505.3 °C.

Temperatura màxima acer: 505 °C



[Maximum temperature] Compartment: 1023.0 °C at 60 min / Steel: 492 °C at 82.08 min  
After 240.0 minutes, the profile has a temperature of 114.0 °C.

Temperatura màxima acer: 492 °C

### 3.5. Temperatura crítica assolida per l'estructura

### Estructura metàl·lica

#### RISC BAIX 2

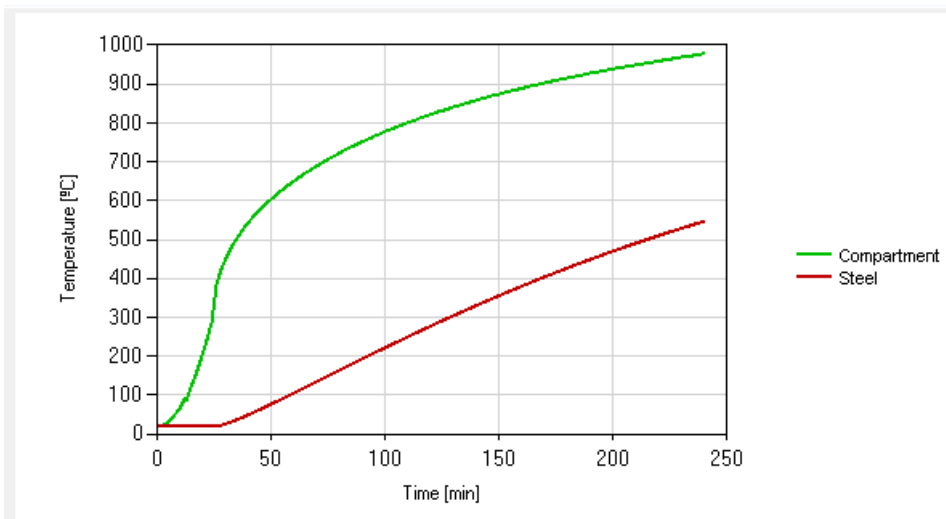
TIPUS A - R 90

Sector 1000 m<sup>2</sup> desenvolupat 100% - Sense extracció de fums

Calculat amb el programa ELEFIR EN

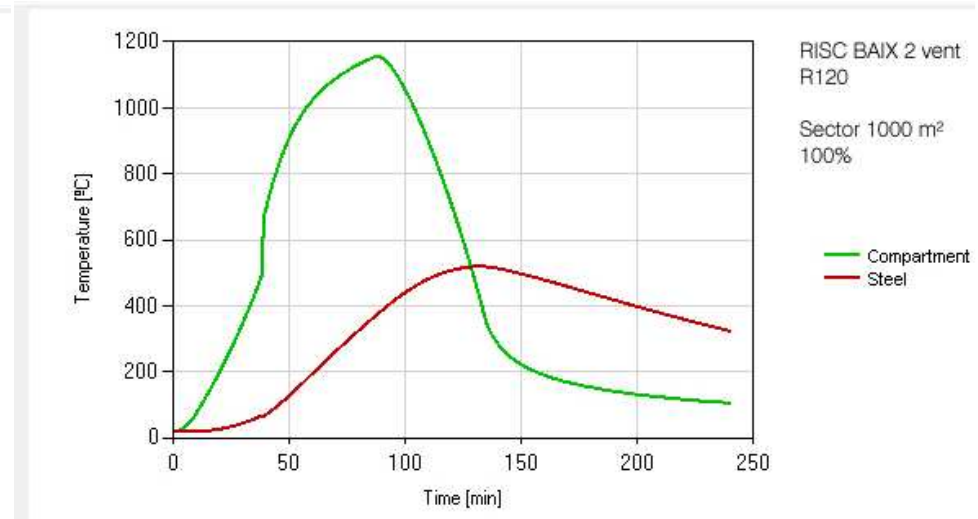
**R 180- Sense extracció de fums**

**R120 – Amb extracció de fums**



[Maximum temperature] Compartment: 978.0 °C at 240 min / Steel: 547 °C at 240 min  
After 240.0 minutes, the profile has a temperature of 546.8 °C.

Temperatura màxima acer: 547 °C



[Maximum temperature] Compartment: 1156.0 °C at 88 min / Steel: 519 °C at 132.08 min  
After 240.0 minutes, the profile has a temperature of 323.9 °C.

Temperatura màxima acer: 519 °C

### 3.5. Temperatura crítica assolida per l'estructura

### Estructura metàl·lica

#### RISC MIG 3

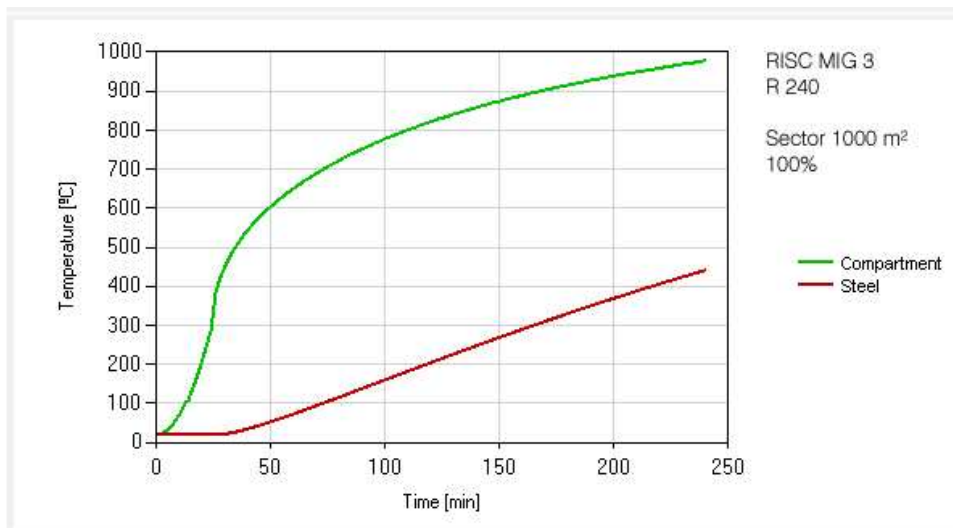
TIPUS A - R 120

Sector 1000 m<sup>2</sup> desenvolupat 100% - Amb extracció de fums

Calculat amb el programa ELEFIR EN

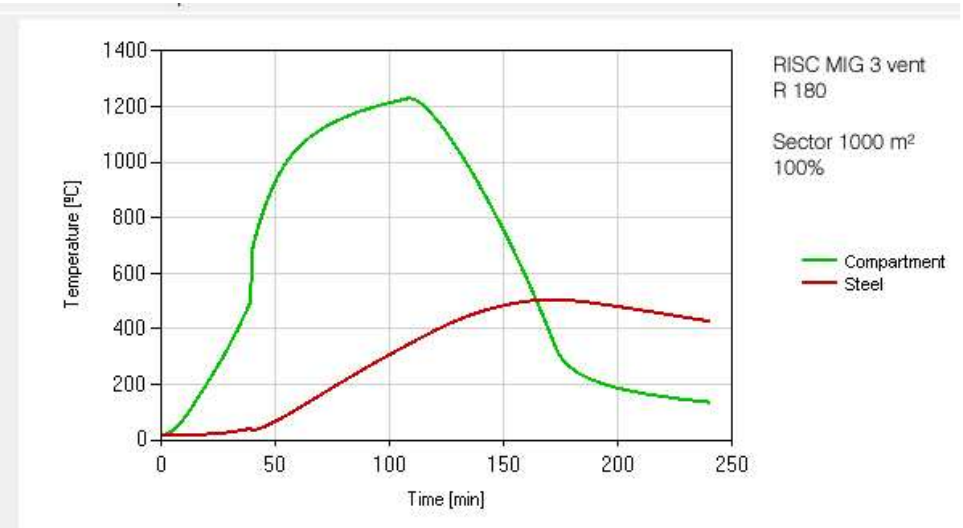
R 240 – sense extracció de fums

R 180 – Amb extracció de fums



[Maximum temperature] Compartment: 978.0 °C at 240 min / Steel: 441 °C at 240 min  
After 240.0 minutes, the profile has a temperature of 441.0 °C.

Temperatura màxima acer: 441 °C



[Maximum temperature] Compartment: 1230.0 °C at 108 min / Steel: 506 °C at 173 min  
After 240.0 minutes, the profile has a temperature of 427.9 °C.

Temperatura màxima acer: 506 °C

\* El programa ELEFIR EN calcula únicament fins a R 240, s'ha validat amb formulació directe de l'EUROCODI 3

#### RISC MIG 4

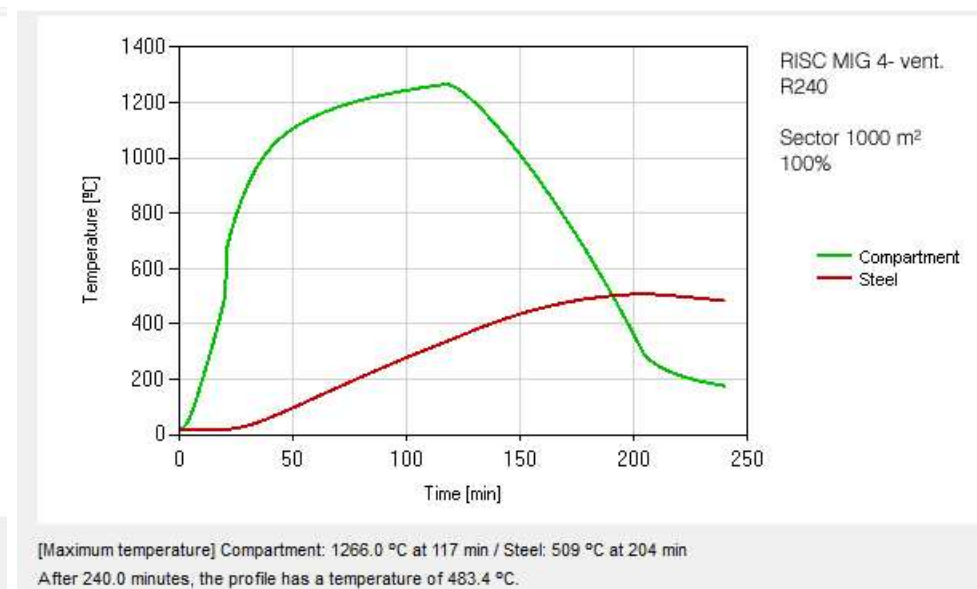
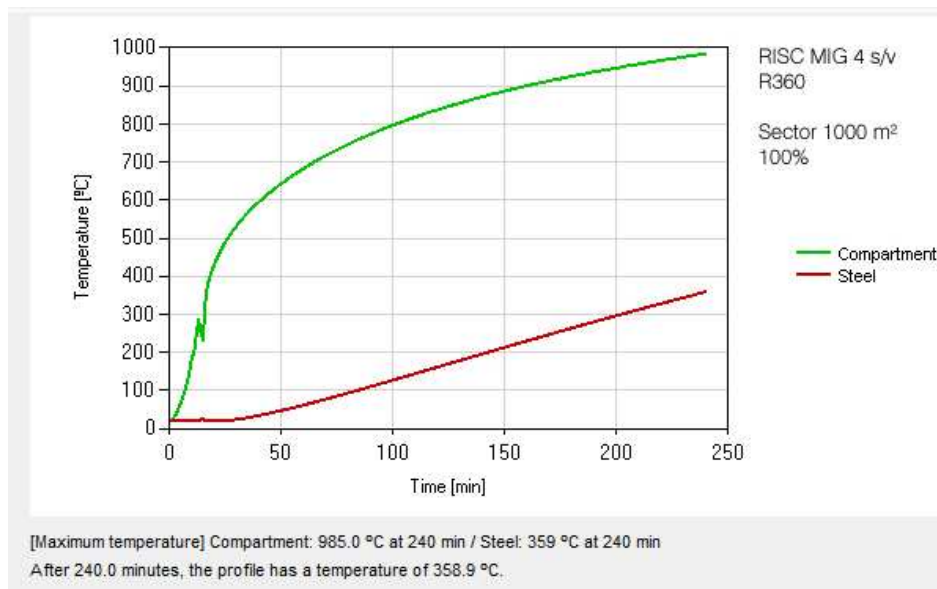
TIPUS A - R 120

Sector 1000 m<sup>2</sup> desenvolupat 100% - sense extracció de fums

Calculat amb el programa ELEFIR EN

R 360 - Sense extracció

R 240 - Amb extracció de fums



Temperatura màxima acer: 509 °C



La temperatura es manté molt alta en el transcurs de l'incendi i es fa inviable garantir el control del col·lapse de l'estructura sense extracció de fums.



### 3.5. Temperatura crítica assolida per l'estructura

### Estructura metàl·lica

#### RISC MIG 5

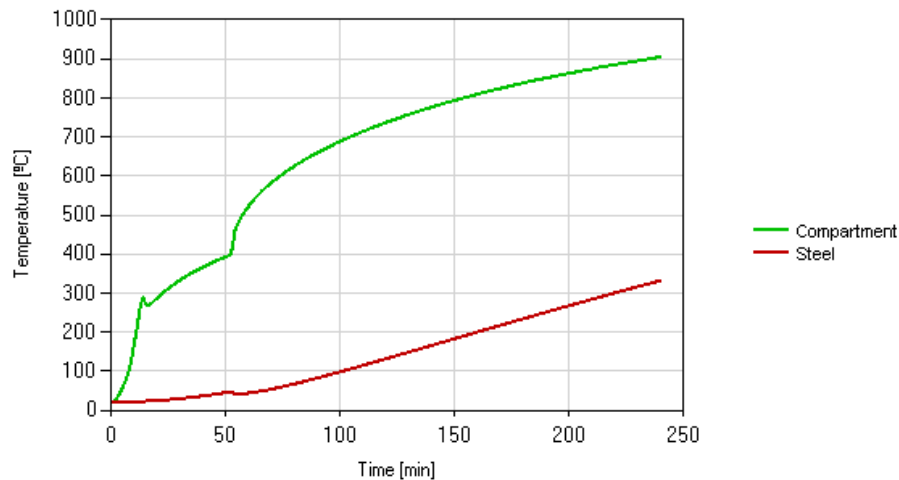
Sector 1000 m<sup>2</sup> desenvolupat 100% - amb extracció de fums

Calculat amb el programa ELEFIR EN



TIPUS A - R 120

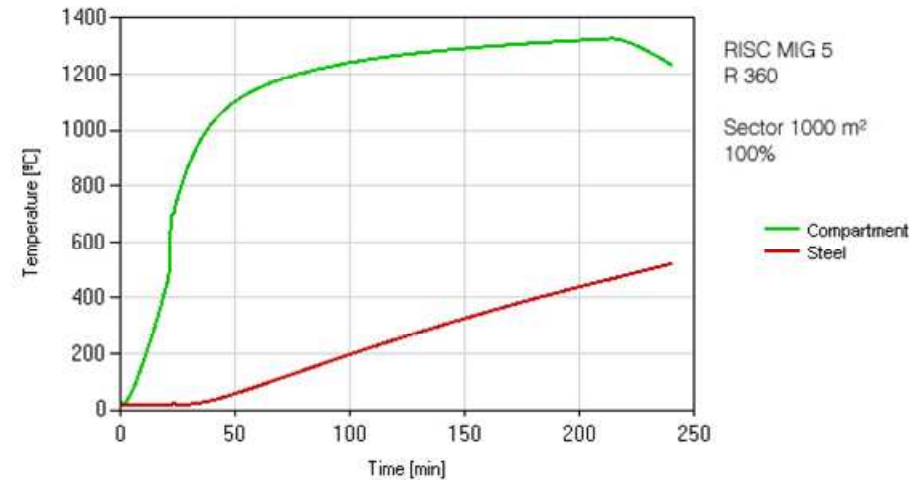
R 360 – sense extracció de fums \*\*



[Maximum temperature] Compartment: 905.0 °C at 240 min / Steel: 332 °C at 240 min  
After 240.0 minutes, the profile has a temperature of 332.0 °C.

Temperatura màxima acer: > 550 °C

R 360 – Amb extracció de fums \*\*



[Maximum temperature] Compartment: 1328.0 °C at 213 min / Steel: 522 °C at 240 min  
After 240.0 minutes, the profile has a temperature of 521.6 °C.

Temperatura màxima acer: > 550 °C



La potència de l'incendi fa inviable el control del col·lapse de l'estructura per nivell de risc Mig 5.

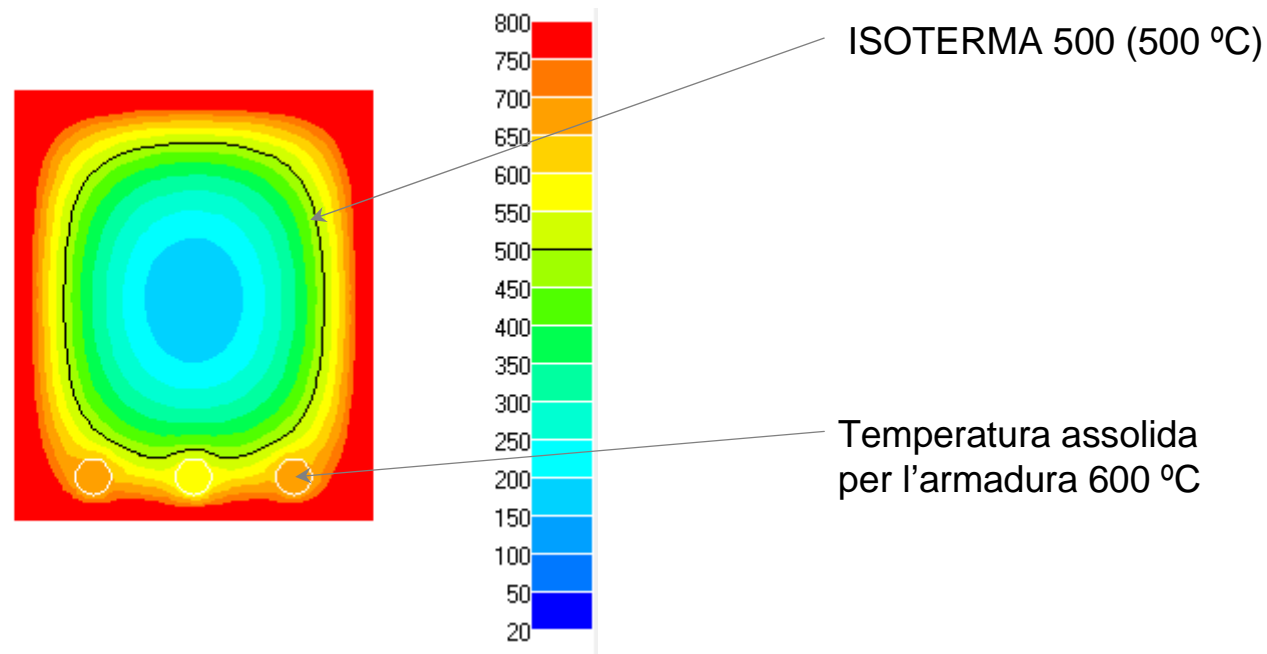
\*\* Valors difícils d'assolir amb els sistemes de protecció existents

■ ■ ■ **bombers** ■ ■ ■

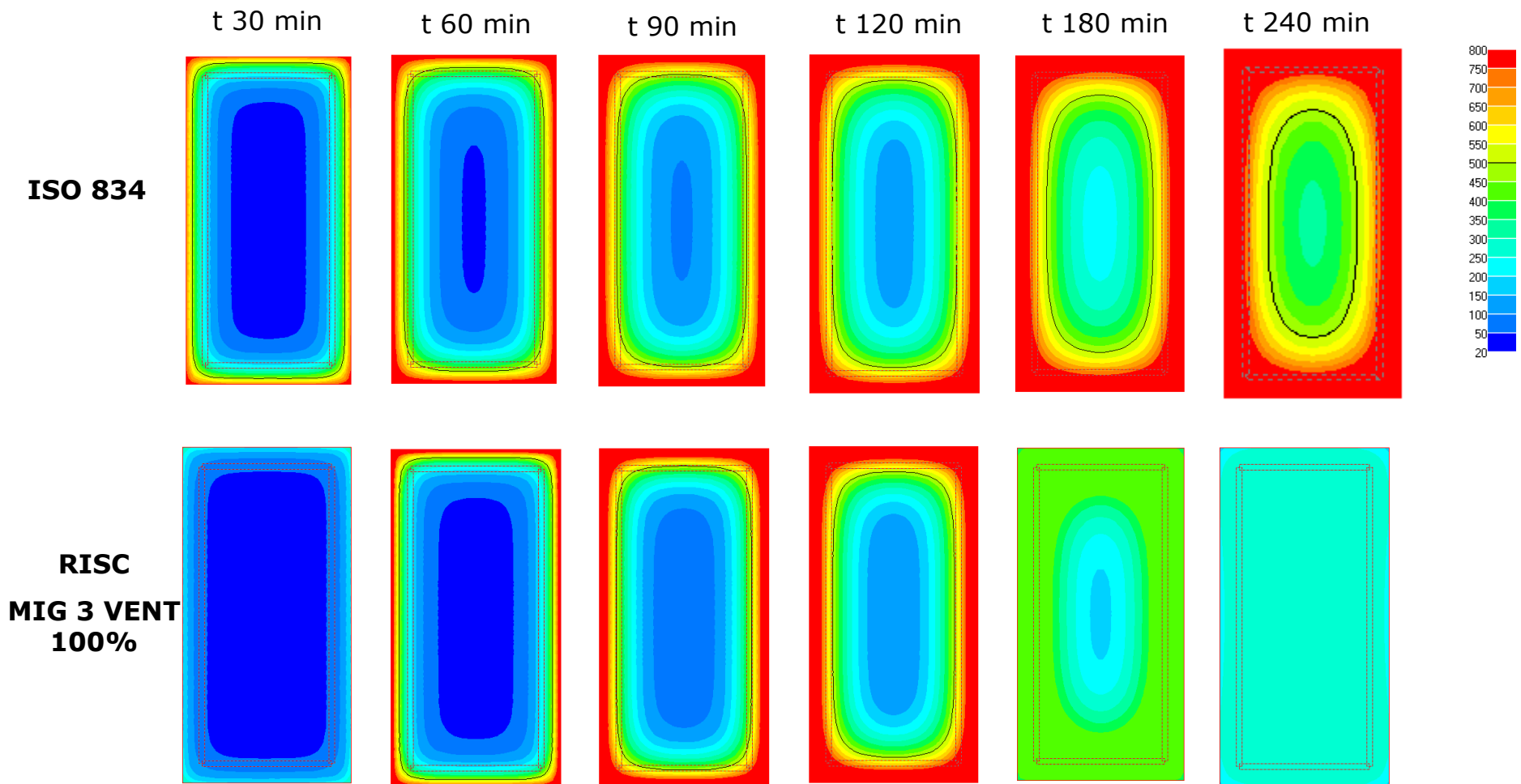
## ***2.5.2 Anàlisi tèrmic formigó armat***

Per a la comprovació dels efectes tèrmic dels incendis tipus sobre l'estructura de formigó armat s'ha emprat un programa de càlcul d'estructures amb càlcul d'elements finits PHYSIBEL, amb aquest mòdul obtindrem els següents valors:

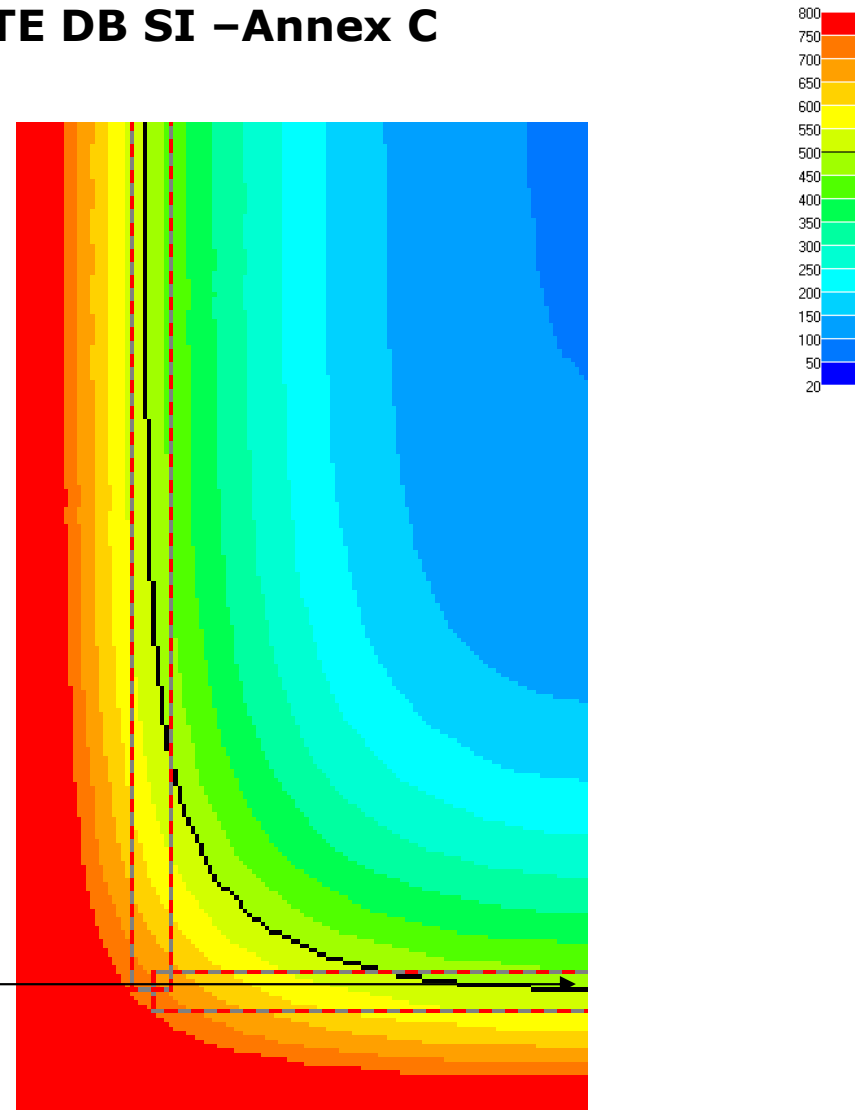
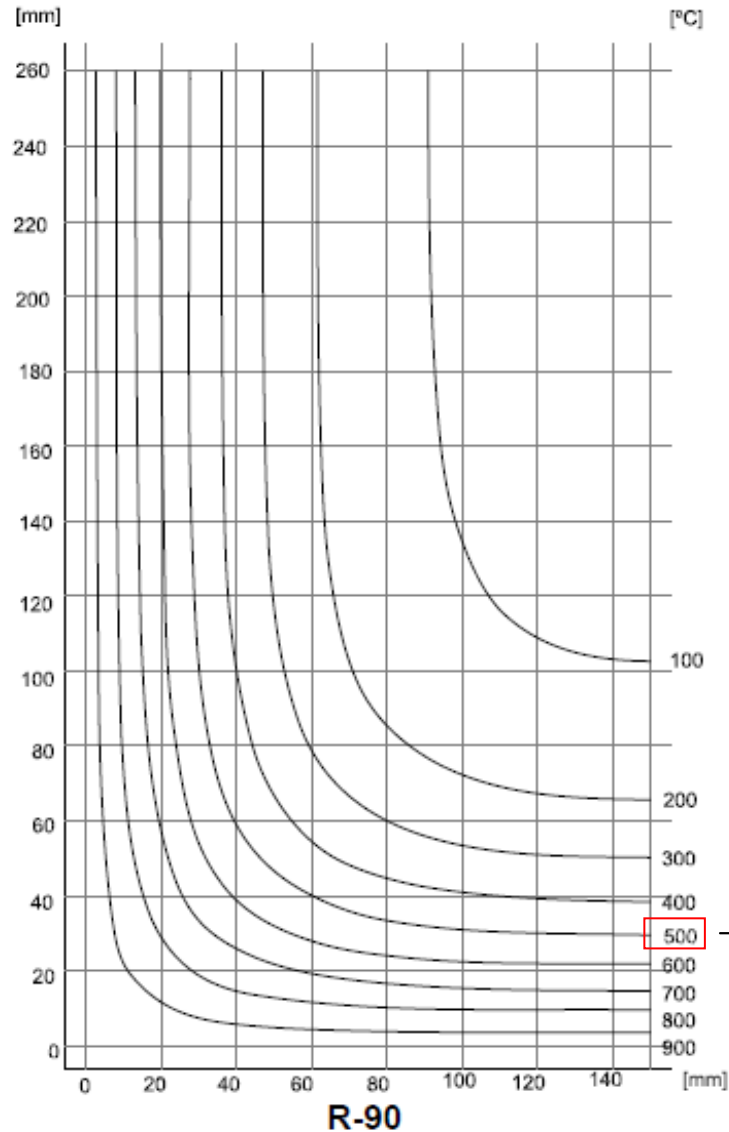
1. Distància de penetració des de l'exterior de la ISOTERMA 500 en la secció de formigó.
2. Temperatures assolides per l'acer. L'acer minorarà la seva resistència en funció de la pèrdua de resistència com a causa de la temperatura.



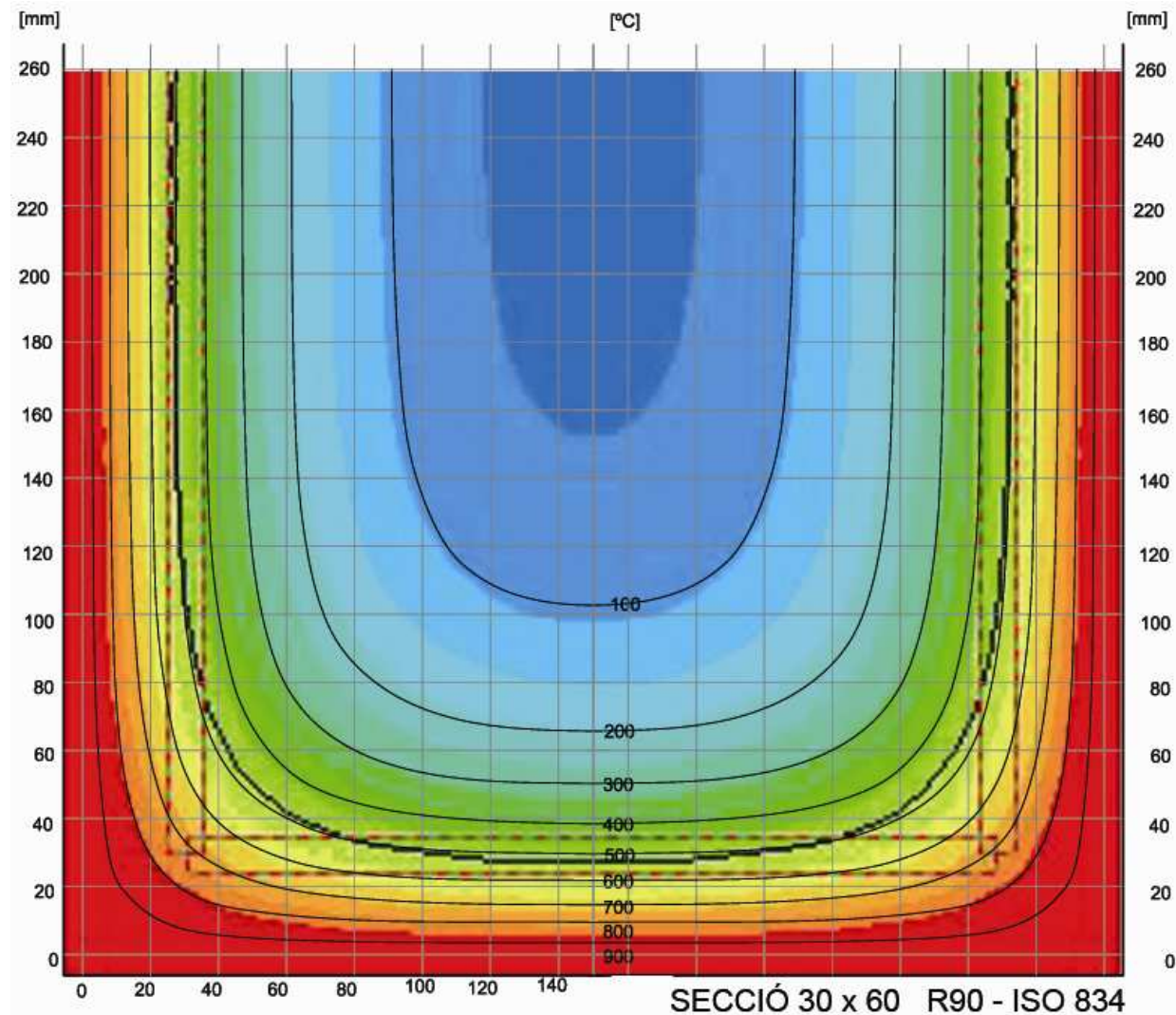
COMPARACIÓ SECCIONS FORMIGÓ 600 X 300 mm RISC MIG 3 100%



### CALIBRACIÓ PROGRAMA amb taules CTE DB SI -Annex C



Comparant gràficament els resultats de la ISOTERMA 500 respecte el model obtingut amb el mòdul physibel, constatem concordança de resultats.

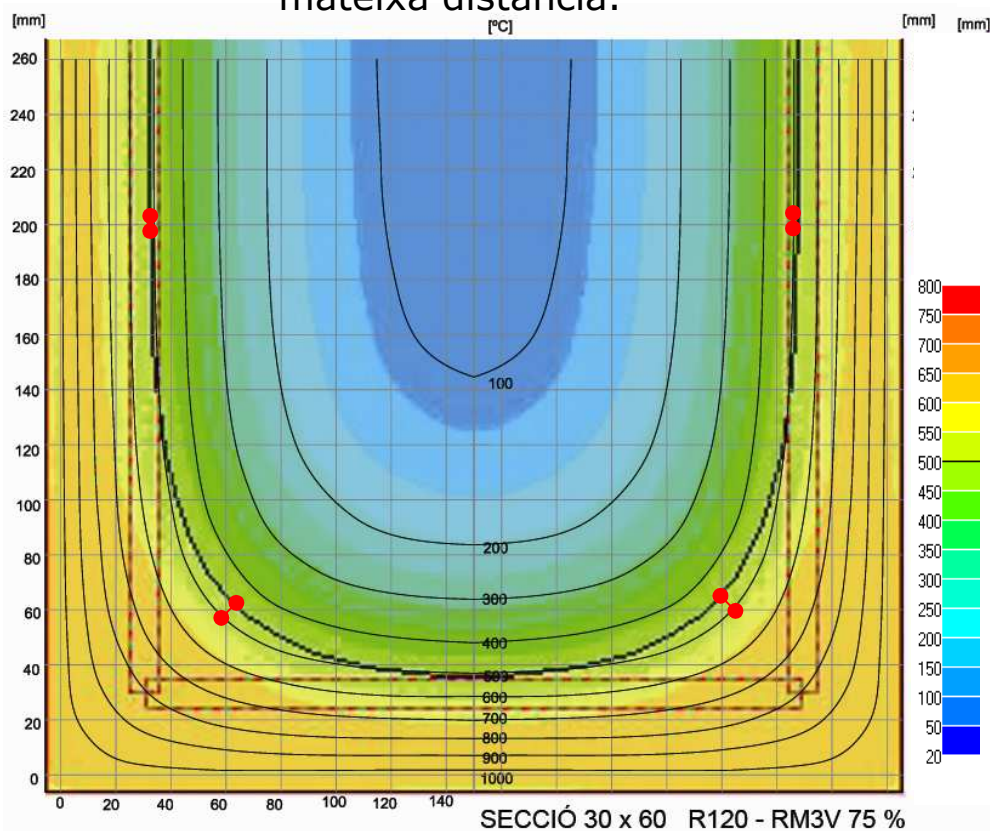




#### Comparació amb ISOTERMA R120. Sector 1000 m<sup>2</sup> (75 i 100%)

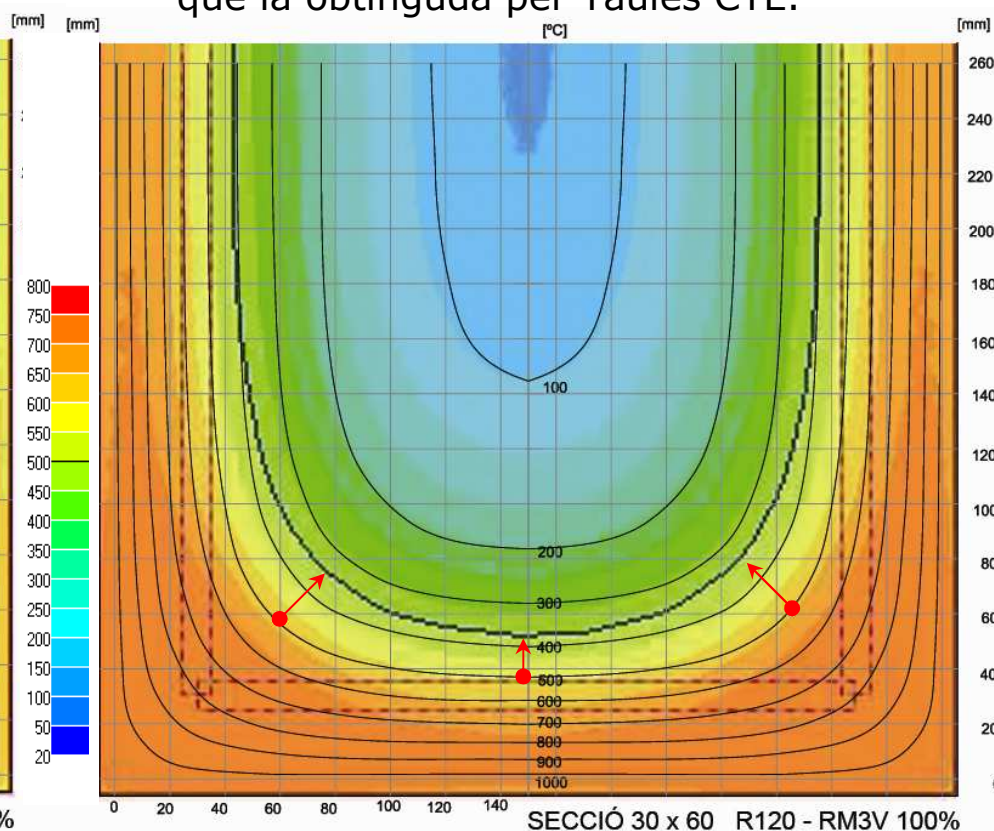
#### COMPLEIX

Les corbes de 500 °C recorren a la mateixa distància.



#### NO COMPLEIX

La isoterma 500 del model s'endinsa més que la obtinguda per Taules CTE.



#### **COMPROVACIÓ FORMIGÓ ARMAT**

Els resultats obtinguts pel mòdul Physibel respecte les ISOTERMES del l'annex C del CTE DB SI/ EHE són coincidents.

La secció sotmesa a temperatures per sobre dels 500 °C no s'hauran de considerar en el càlcul posterior de la secció L'acceptació de seccions que en el transcurs del seu escalfament no superin el límit de la ISOTERMA 500, obre la via per a la comprovació prestacional de seccions de formigó.

Els resultats obtinguts d'estructura de formigó respecte els d'estructura d'acer protegida concorden, tot i haver emprat dos metodologies diferents.

### 3.6. Taula resum de resultats



### 3.6. Taula resum de resultats

## TAULES DE RESULTATS PER ESTRUCTURA PROTEGIDA R 90

Sector 1000 m<sup>2</sup>

Nivell de risc		SENSE EXHUTORIS				AMB EXHUTORIS			
		25%	50%	75%	100%	25%	50%	75%	100%
<b>BAIX</b>	<b>1</b>	●	●	●	667 °C	●	●	●	388 °C
	<b>2</b>	●	●	●	729 °C	●	●	●	604 °C
<b>MIG</b>	<b>3</b>	●	●	●	> 750 °C	●	●	●	715 °C
	<b>4</b>	●	●	●	> 750 °C	●	●	●	776 °C
	<b>5</b>	●	●	●	> 750 °C	●	●	●	1073 °C

- Temperatura màxima > 550 °C
- Temperatura màxima 500-550 °C
- Temperatura màxima < 500 °C

### 3.6. Taula resum de resultats

## TAULES DE RESULTATS PER ESTRUCTURA PROTEGIDA R 120

Sector 1000 m<sup>2</sup>

Nivell de risc		SENSE EXHUTORIS				AMB EXHUTORIS			
		25%	50%	75%	100%	25%	50%	75%	100%
<b>BAIX</b>	<b>1</b>	●	●	●	600 °C	●	●	●	319 °C
	<b>2</b>	●	●	●	671 °C	●	●	●	519 °C
<b>MIG</b>	<b>3</b>	●	●	●	> 700 °C	●	●	●	633 °C
	<b>4</b>	●	●	●	> 700 °C	●	●	●	721 °C
	<b>5</b>	●	●	●	> 700 °C	●	●	●	920 °C

- Temperatura màxima > 550 °C
- Temperatura màxima 500-550 °C
- Temperatura màxima < 500 °C

### 3.6. Taula resum de resultats

## TAULES DE RESULTATS PER ESTRUCTURA PROTEGIDA R 180

Sector 1000 m<sup>2</sup>

Nivell de risc		SENSE EXHUTORIS				AMB EXHUTORIS			
		25%	50%	75%	100%	25%	50%	75%	100%
<b>BAIX</b>	<b>1</b>				505 °C				237 °C
	<b>2</b>				547 °C				401 °C
<b>MIG</b>	<b>3</b>				> 550 °C				506 °C
	<b>4</b>				> 550 °C				600 °C
	<b>5</b>				> 550 °C				736 °C

- Temperatura màxima > 550 °C
- Temperatura màxima 500-550 °C
- Temperatura màxima < 500 °C



### 3.6. Taula resum de resultats

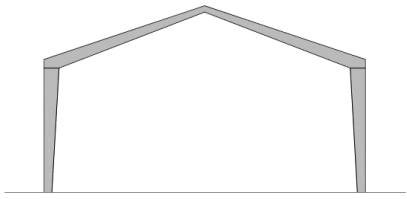
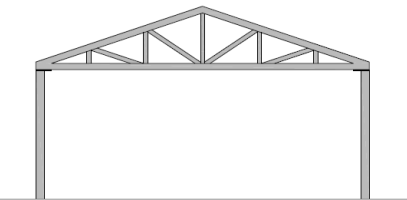
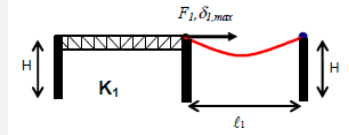
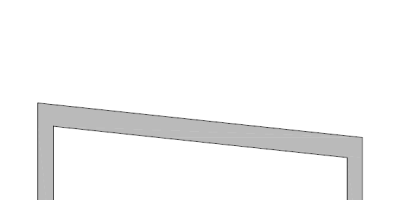
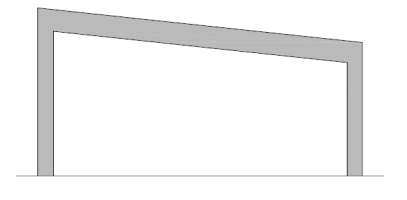
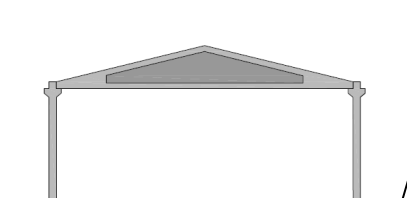
## TAULES DE RESULTATS PER ESTRUCTURA PROTEGIDA R 240

Sector 1000 m<sup>2</sup>

Nivell de risc		SENSE EXHUTORIS				AMB EXHUTORIS			
		25%	50%	75%	100%	25%	50%	75%	100%
<b>BAIX</b>	<b>1</b>				418 °C				195 °C
	<b>2</b>				441 °C				326 °C
<b>MIG</b>	<b>3</b>	●	●	●	> 500 °C				417 °C
	<b>4</b>	●	●	●	> 550 °C	●	●	●	509 °C
	<b>5</b>	●	●	●	> 550 °C	●	●	●	639 °C

- Temperatura màxima > 550 °C
- Temperatura màxima 500-550 °C
- Temperatura màxima < 500 °C

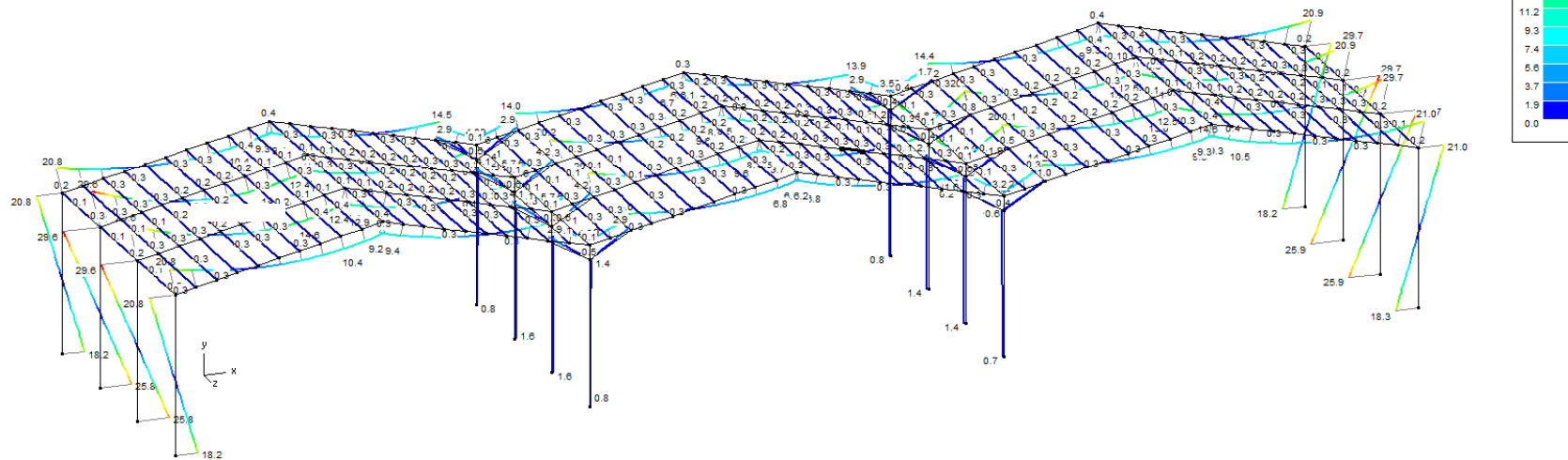
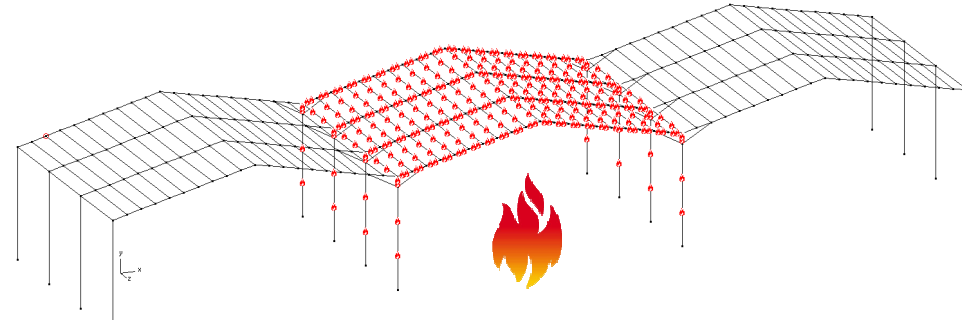
### 3.6. Taula resum de resultats

METÀL·LICA		HIPERESTÀTICA totalment protegida	⇒ Sistemes de protecció convencional com pintura intumescent i morter
		HIPERESTÀTICA parcialment protegida a l'estructura de coberta	⇒  <b>Programari LUCA v1.2</b> <a href="http://www.arcelormittal.com">http://www.arcelormittal.com</a>
		ISOSTÀTICA	⇒ La justificació d'aquest tipus d'estructura quan no es disposi de la resistència al foc requerida, pot ser molt complicada tant per l'alta massivitat dels perfils com el comportament amb fallada de les unions.
FORMIGÓ		⇒	L'augment de resistència de les estructures de formigó amb els prefabricats es poden assolir tant amb pintura intumescent com amb projectat de morter amb gruixos equivalents de formigó
PREFABRICAT			

## 3.6. Taula resum de resultats

### Quin és el proper pas ?

1. Comprovar resultats amb FDS
2. Comprovació mecànica de les estructures porticades sotmeses a l'acció de l'incendi.

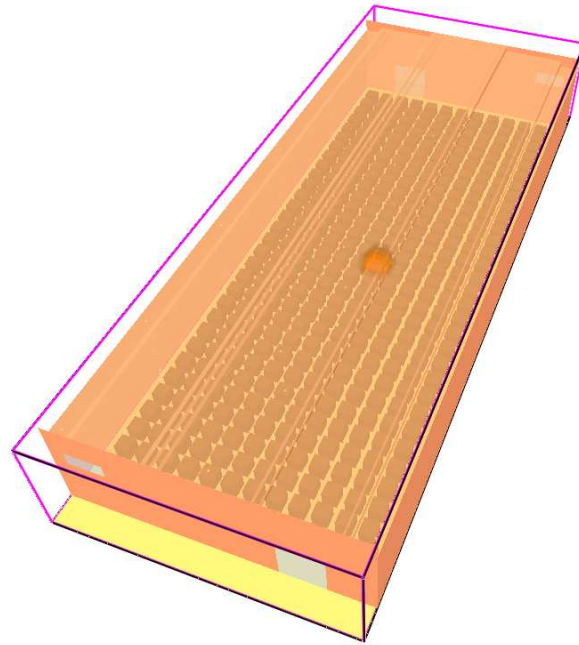


## 3.7 CONCLUSIONS ANÀLISI 1D

### **CONCLUSIONS DE L'ANÀLISI 1D**

- Es constata que per determinats nivells de risc com el Baix 1, Baix 2 i MIG 3 amb estructures protegides i que disposin de sistemes d'extracció de fums es pot justificar el no col·lapse de l'estructura.
- L'actuació dels sistemes d'extracció de fums, augmenten la punta màxima de temperatura però redueixen el temps de durada de l'incendi de forma considerable sent un factor clau per evitar el col·lapse d'una estructura protegida.
- L'acció conjunta de sistemes de ventilació i protecció de l'estructura es confirma com una via vàlida per demostrar que no es produirà el col·lapse de l'estructura.
- Cal validar el comportament mecànic de l'estructura per obtenir un resultat acurat del comportament mecànic en situació d'incendi.
- Cal validar el percentatge d'incendi implicat o nivell de combustió de la càrrega de foc amb les simulacions FDS. Es mostra a continuació.

# 1. ANÀLISI 3D FIRE DINAMIC SIMULATOR





# INDEX

## Introducció i objectius

### 1. ANÀLISI CREMADA PALET

- 1.1 Definició de l'escenari de simulació
- 1.2 Resultat Palets estudis de referència
- 1.3. Resultats Palet Bombers CAT
- 1.4. Resultats Model 1D (OZONE)

### 2. ANÀLISI MODEL NAU 1000 m<sup>2</sup>

- 2.1 Definició de l'escenari de simulació
- 2.2 Distribució de la càrrega de foc en el sector
- 2.3 Resultats del diferents models calculats

### 3. CONCLUSIONS

### OBJECTE DE L'ESTUDI

L'ús d'eines CFD obre un camp molt important pel que fa a l'avaluació prestacional del comportament d'un incendi.

L'estudi del comportament d'un incendi tipus per avaluar l'afectació tèrmica que tindrà sobre les estructures, en la definició d'un possible col·lapse, proporciona una informació complementària als resultats que aporta un model de zona (1D) com és l'OZONE.

### **L'estudi que es mostra a continuació s'ha dividit en dos parts:**

1- Una primera fase de comparació dels resultats obtinguts en un experiment real de fusta cremada respecte una simulació reproduint l'assaig fet amb FDS. Un cop obtinguts els resultats finals es compararan amb els resultats obtinguts amb un model de zona OZONE. L'objectiu es comprovar les desviacions que tenen tant el model 1D com 3D respecte un assaig real.

2- Un cop analitzat el cas de palet individual, es mostraran els resultats obtinguts per a una nau completa 1000 m<sup>2</sup>, valorant les desviacions produïdes respecte els models 1D

## ESTUDIS DE REFERÈNCIA

Els estudis que s'han pres com a referència per desenvolupar l'estudi són:

*[1] 2007 Experimental Validation of the FDS Simulations of Smoke and Toxic Gas Concentrations: Tuomo Rinne, Jukka Hietaniemi & Simo Hostikka Estudi 2*

*[2] 2005 Case Study: Developing a Design Fire for an Experimental Study of Residential Basement Fires, Alex Bwalya, Ph.D. and Abderrazzaq Bounagui, Ph.D. Institute for Research in Construction National Research Council Canada*

Els estudis que s'han emprat pertanyen a dos institucions reconegudes internacionalment en l'àmbit de la prevenció d'incendis:

**VTT Technical Research Centre** de Finlàndia, és un centre amb repercussió internacional en l'àmbit de les simulacions computacionals.

**NRC National Research Council** de Canadà és un òrgan que aglutina la la recerca de Canadà.

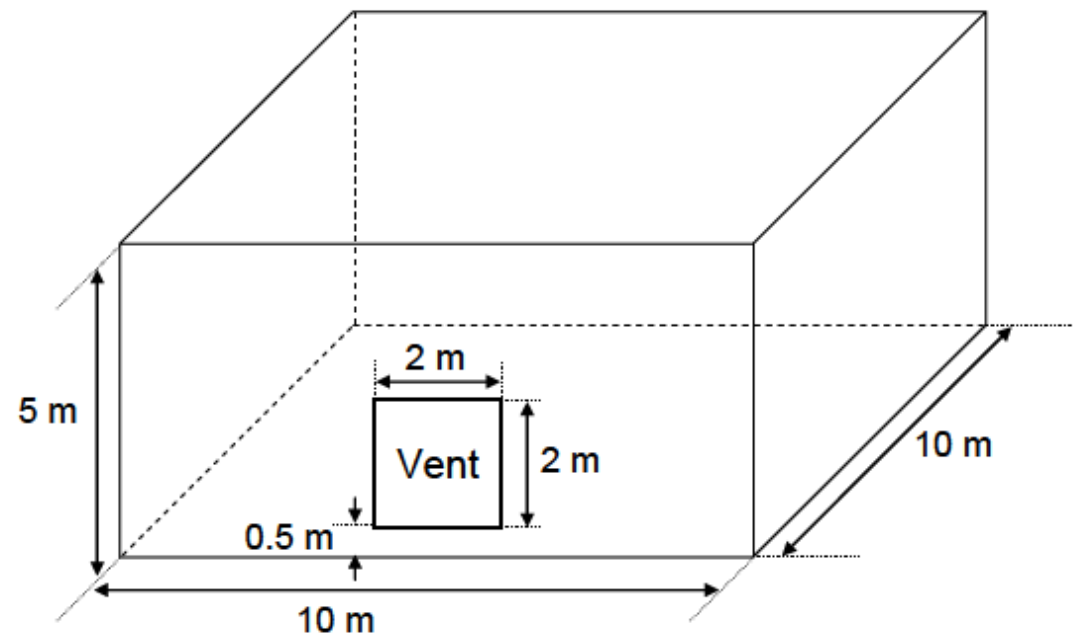
**NIST National Institut of Standards and Technology** d'Estats Units és un centre punter en recerca i va desenvolupar el programa FDS Fire Dynamics Simulator emprat en aquest estudi.

## ***1.1 Escenari de simulació***

## 1.1 Definició de l'escenari de simulació

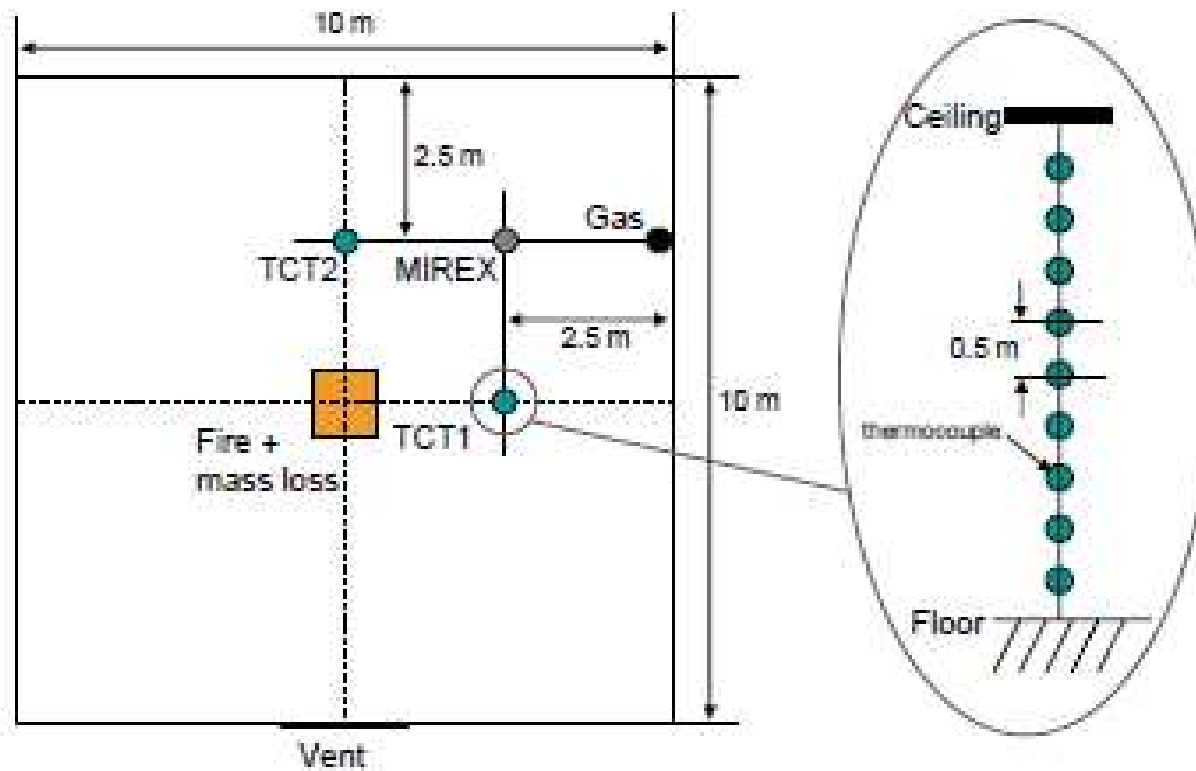
### **Escenari prova FDS :**

L'escenari d'assaig considerat es desenvolupa en un compartiment de 10 x 10 x 5 m amb un volum de 500 m<sup>3</sup> . Els tancaments estan formats per una xapa d'acer de 2 mm aïllada amb fibra de vidre. El paviment considerat és de formigó de 0,2 m. El compartiment disposarà d'una obertura de ventilació de 2 m x 2 m sense tancar en el transcurs de l'assaig. Aquest escenari s'ha seleccionat en correspondència amb l'estudi [2].



## 1.1 Definició de l'escenari de simulació

La posició dels termoparells per tal de mesurar els kW dissipats per la combustió del model seguiran aquest esquema.



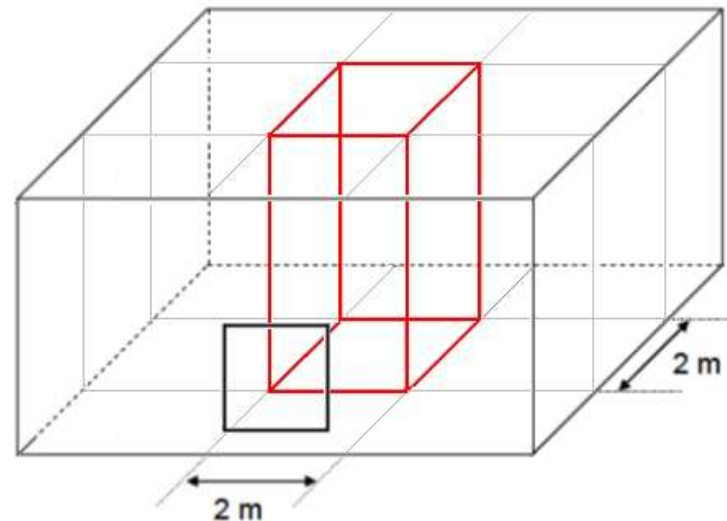


## 1.1 Definició de l'escenari de simulació

### **Definició del mallat :**

Com a criteri general considerarem que el mallat de referència serà, com a màxim, la mida del llistó a cremar, de manera que, en el model de 4x4x4 cm la malla màxima tindrà aquesta mida.

De totes maneres i per tal de reduir al màxim el cost computacional i el temps de càlcul, en la zona on hi ha el palet de fusta s'acotarà una àrea de 2x2 m amb aquesta disposició màxima de mallat i la resta amb un mallat més gran però múltiple del primer.



## 1.1 Definició de l'escenari de simulació

### **Programa i equips utilitzats:**

El programa CFD (Computational Fluid Dynamics) que utilitzarem, és l' FDS (Fire Dynamics Simulator) versió: 5.0.0.

Aquest és un programa que treballa amb els anomenats models de camp, que consisteixen en discretitzar l'escenari en petites cel·les i on es realitzen les diferents equacions de Navier-Stokes a cadascuna d'elles.

Per la realització dels càlculs s'han utilitzat diferents equips (convencionals):

Intel core 2 Quad CPU Q6600 de 2.40GHz i 3.00GB de RAM.

Sistema Operatiu: Windows 7 64 bits

3 Estacions de treball

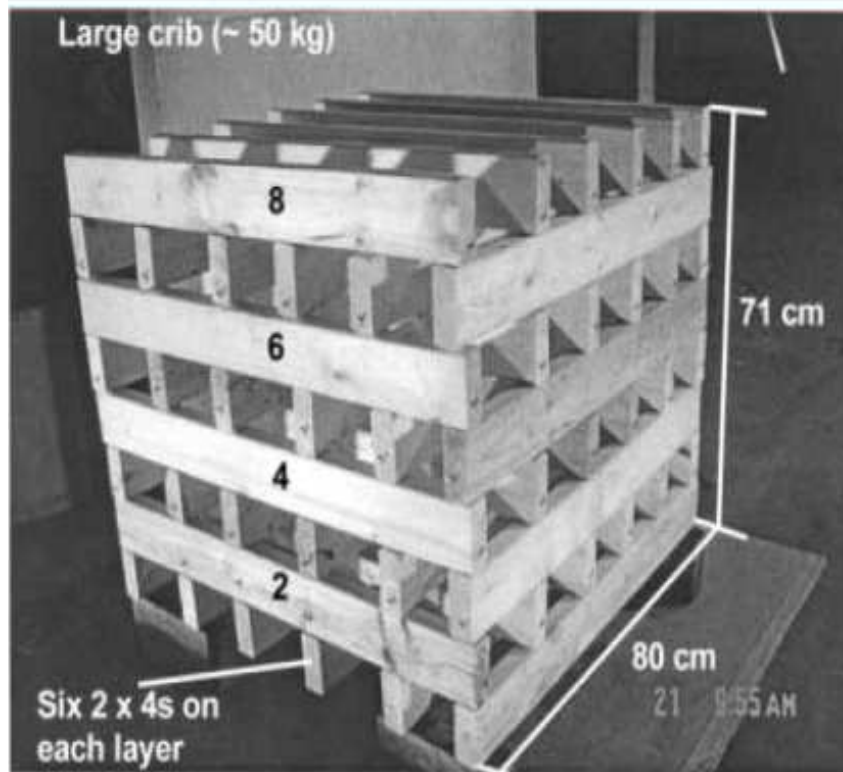
Intel Core i3-2120 CPU de 3,30 Ghz i 3.00GB de RAM

Sistema Operatiu: Windows XP Professional 32 bits

## ***1.2 Resultats obtinguts en els estudis de referència***

## 1.2. Estudis de referència: Model Canadenc 50 Kg

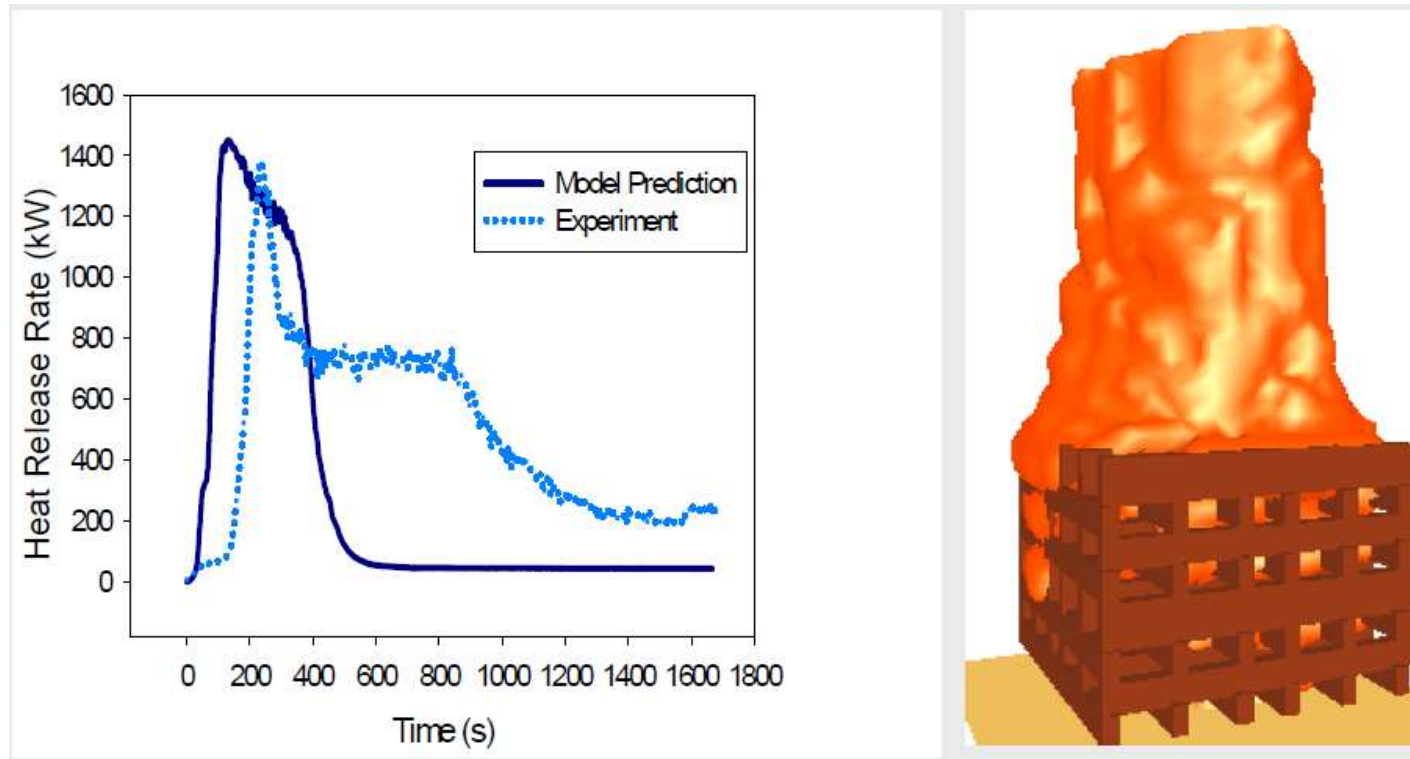
L'estudi canadenc desenvolupa 3 anàlisis: 2 palets de fusta de 25, 50 Kg i un Sofà. Hem pres com a referència els valors obtinguts amb el Palets de fusta, dels quals tenim informació completa per poder reproduir l'assaig en FDS.



Peak HRR at 4 min from ignition

## 1.2 Estudis de referència: Model Canadenc 50 Kg

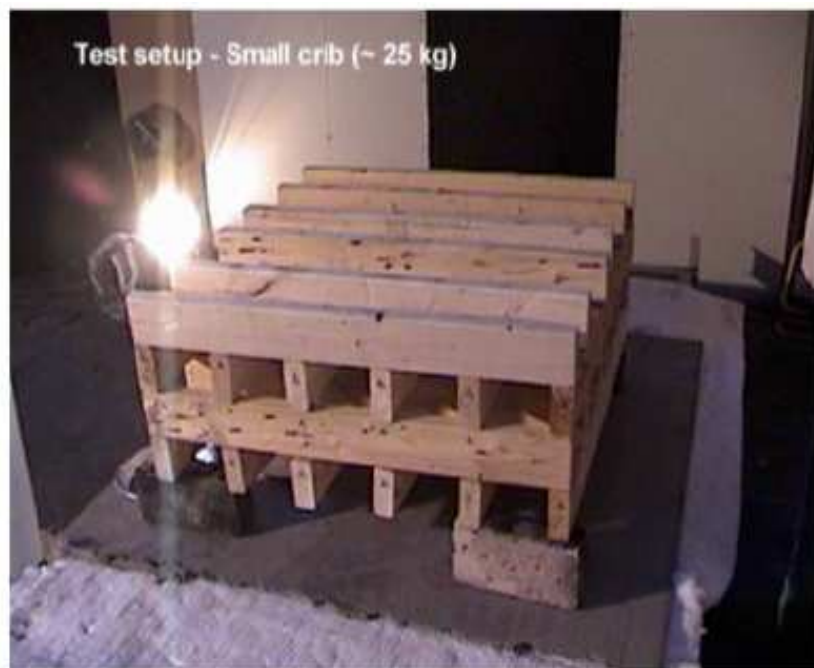
Palet gran Canadenc 50 Kg: Assoleix un pic màxim de 1382 kW. Hi ha correspondència entre els resultats màxims simulats i els obtinguts amb l'experiment real.



	Dimensió	Massa (kg)	Pic HRR (kW)	Pic HRR Temps (s)	Total HR (MJ)
1a	Palet Gran	50	1382	234	847

## 1.2 Estudis de referència: Model Canadenc 25 Kg

Palet petit Canadenc 25 Kg: Assoleix un pic màxim de 406 kW



**Crib configuration**



**Peak HRR at ~ 4 min from ignition**

	Dimensió	Massa (kg)	Pic HRR (kW)	Pic HRR Temps (s)	Total HR (MJ)
2a	Palet Petit	25	406	262	402



## 1.2 Estudis de referència: Model Finès VTT 25 Kg

El model petit Finès de 25 Kg assoleix un pic màxim de 650 kw, que varia respecte els resultats obtinguts en el model Canadenc amb 406 kW. Cal dir que tant la distribució i densitat de les fustes i disposició dels termoparells no el fan 100% comparable.

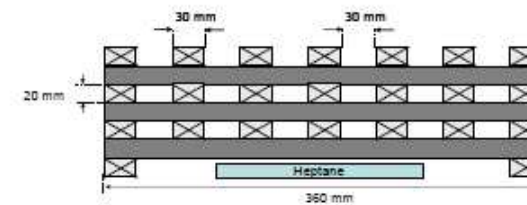
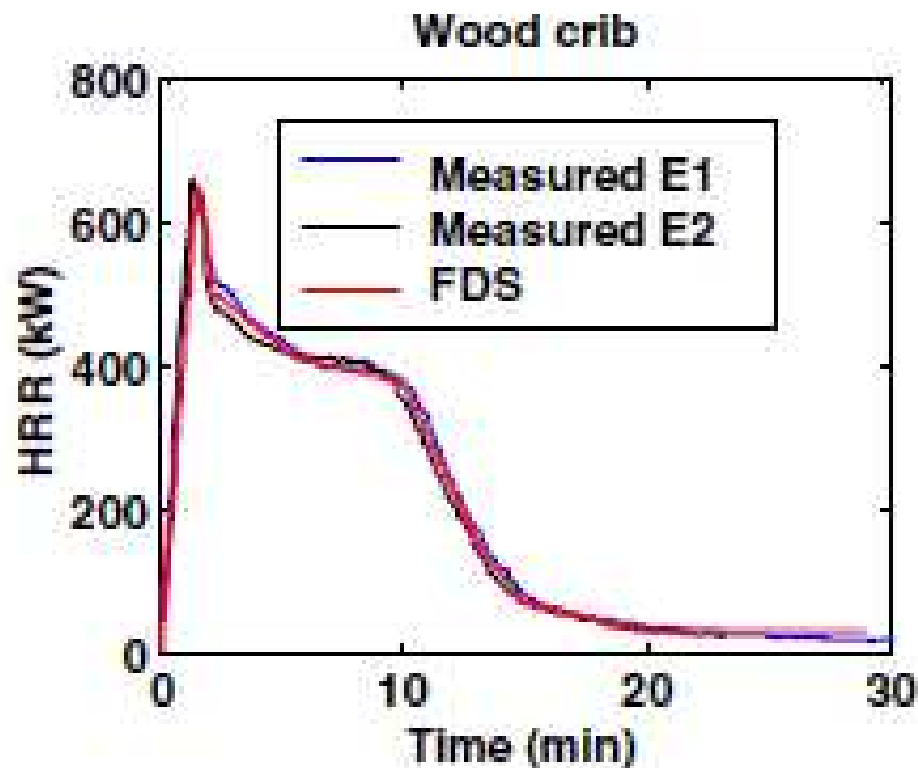


Figure 2. PMMA crib construction.

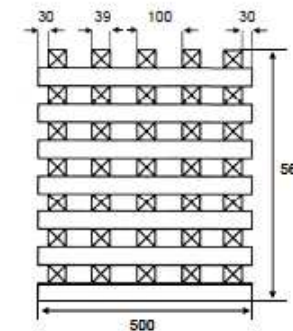


Figure 3. Wood crib construction. Length of the crib was 500 mm. Units are in mm.

## 2. Estudis de referència: Model Finès 25 Kg

Gràfics temps-temperatura a diferent alçades del model Finès.

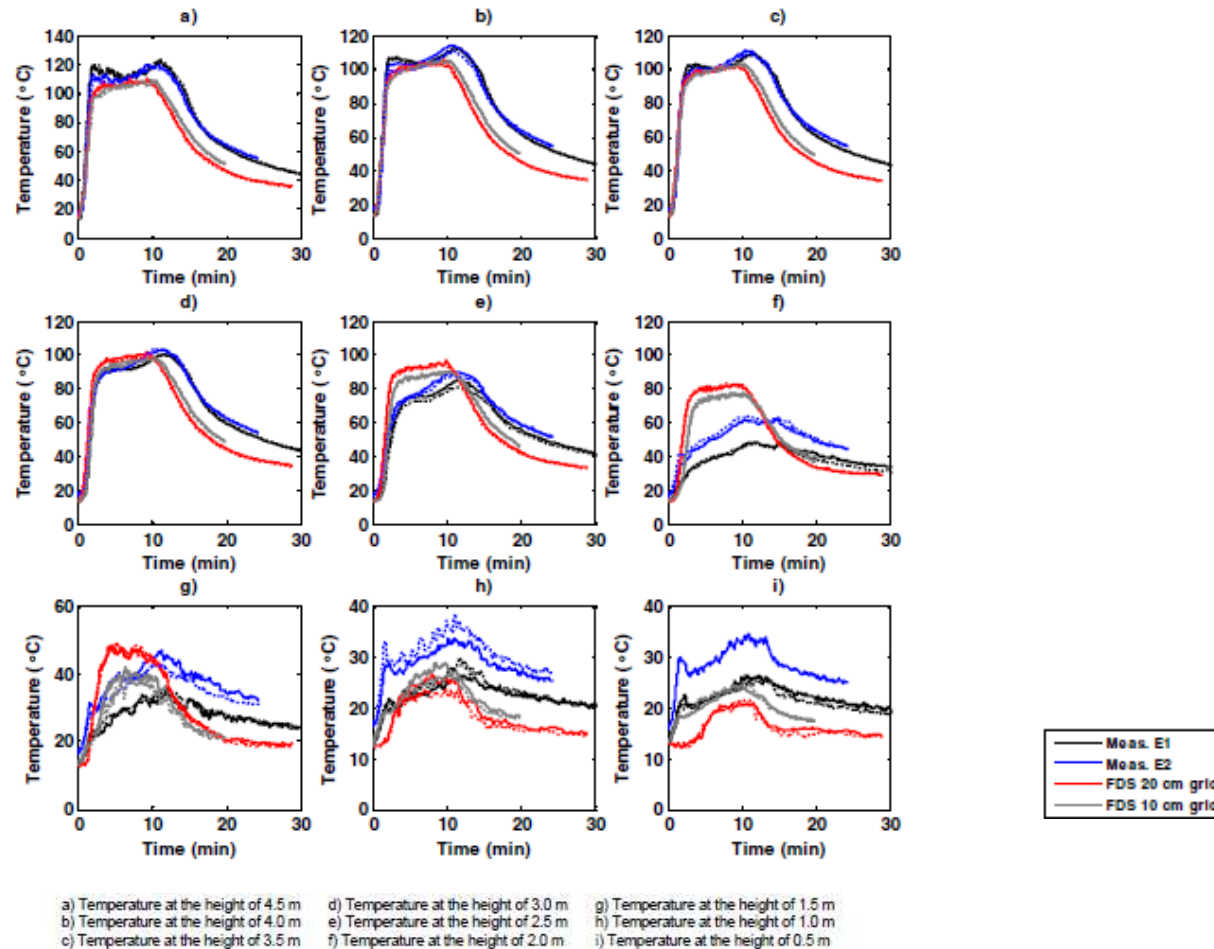


Figure 13. Temperature profiles at different heights in the FDS simulations and the experiments. Fuel is wood. The solid and dotted lines present the temperature values obtained from TCT1 and TCT2, respectively.

### ***1.3. Resultats obtinguts FDS (Bombers CAT)***

## 1.3. Estudis propi FDS: Model Bombers CAT 50 Kg

### **Model 50 Kg (BOMBERS CAT):**

S'ha fet una prova amb una distribució de fustes segons referència VTT que utilitza llistons de 39 mm però per facilitar l'adaptació al mallat s'ha considerat 40 mm.

CÀLCUL CÀRREGA DE FOC RISC BAIX 2 -  
200 Mcal/m<sup>2</sup> (850 MJ)

1. Calculem volum total:

$$0,04 \times 0,04 \times 0,8 \times 8 \times 8 = 0,08 \text{ m}^3$$

$$0,08 \text{ m}^3 \times 0,64 \text{ kg/dm}^3 \times 1000 \text{ dm}^3/\text{m}^3 = 51,2 \text{ Kg}$$

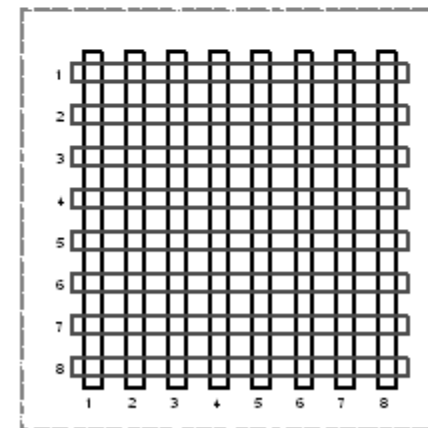
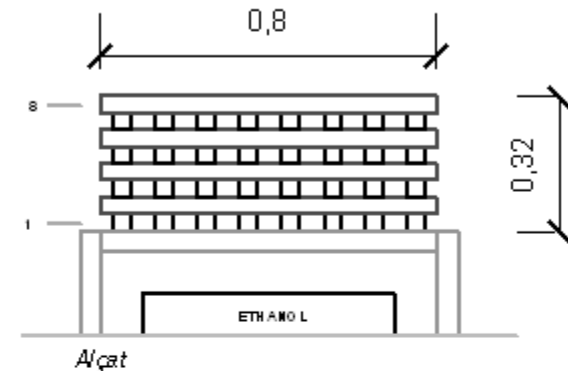
2. Calculem Càrrega de foc

$$51,2 \text{ Kg} \times 4 \text{ Mcal/kg} = 204,8 \text{ Mcal}$$

### **PI GROC (FDS)**

Densitat 640 Kg/m<sup>3</sup>

Calor específic 2,85 KJ/(Kg.k)



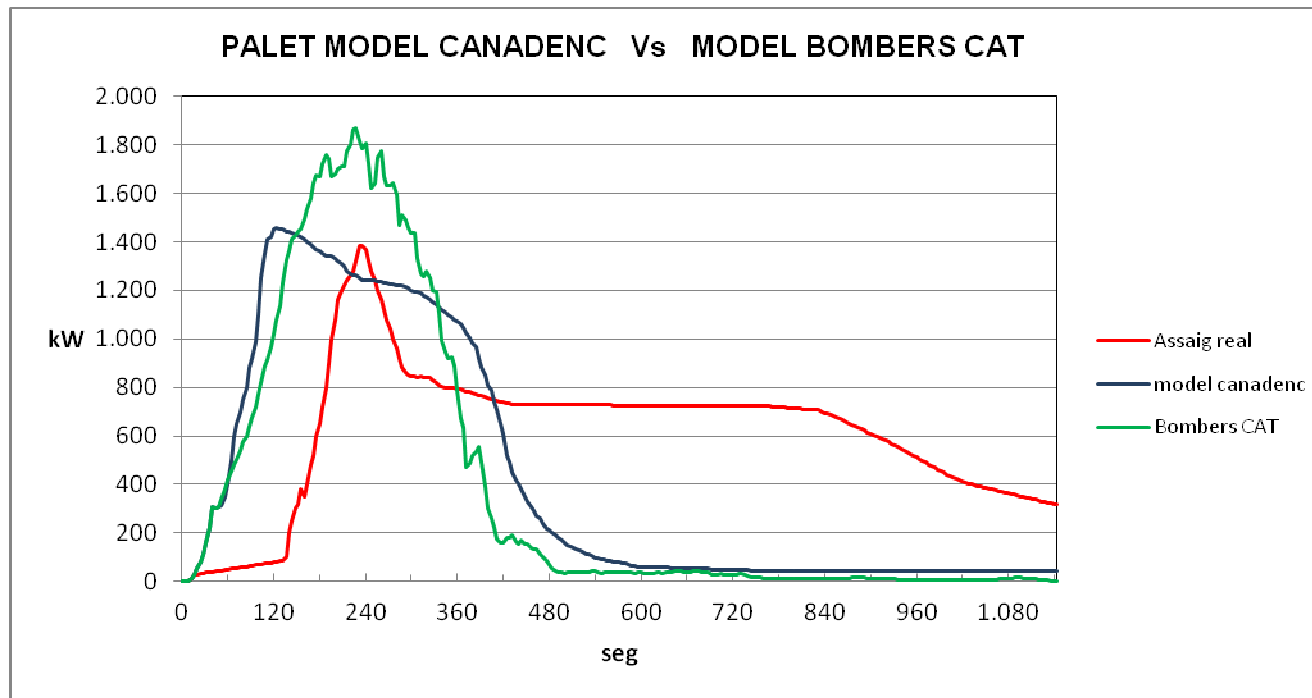
Planta

### 1.3. Estudis propi FDS: Model Bombers CAT 50 Kg

#### **Model Bombers CAT 50 Kg Vs Model Canadenc:**

Fent la comparativa entre el model de 50kg Bombers CAT i els resultats de l'estudi Canadenc, veiem que el total d'energia alliberada per als models experimentals, és pràcticament igual.

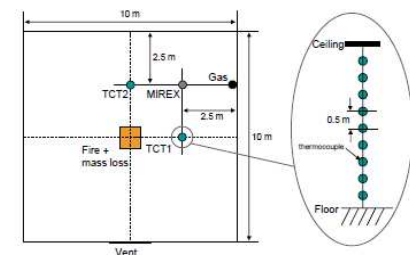
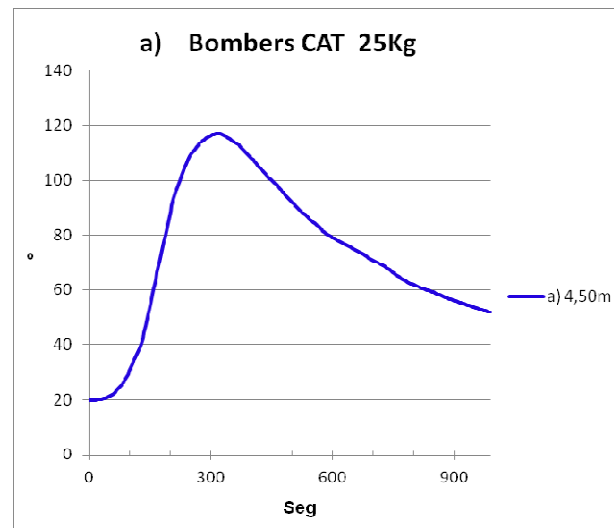
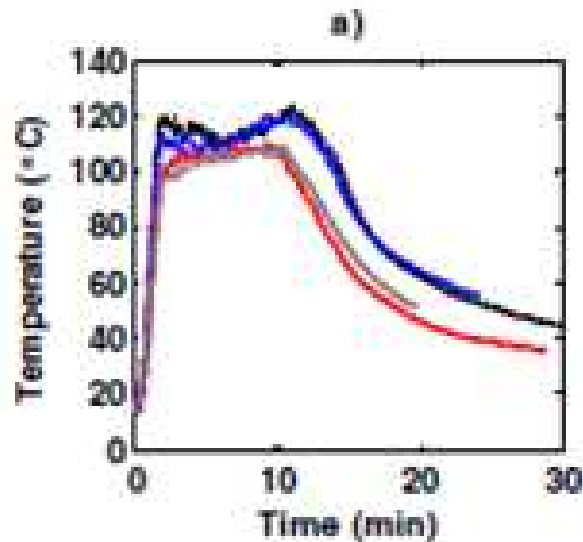
Podem dir doncs, que el resultat s'aproxima al model empíric amb una diferència respecte al punt màxim , passant de 1400 kW, a 1800 kW.



### 1.3. Estudis propi FDS: Model Bombers CAT 25 Kg vs Model VTT

#### Model Bombers CAT 25 Kg Vs Model Finlandès:

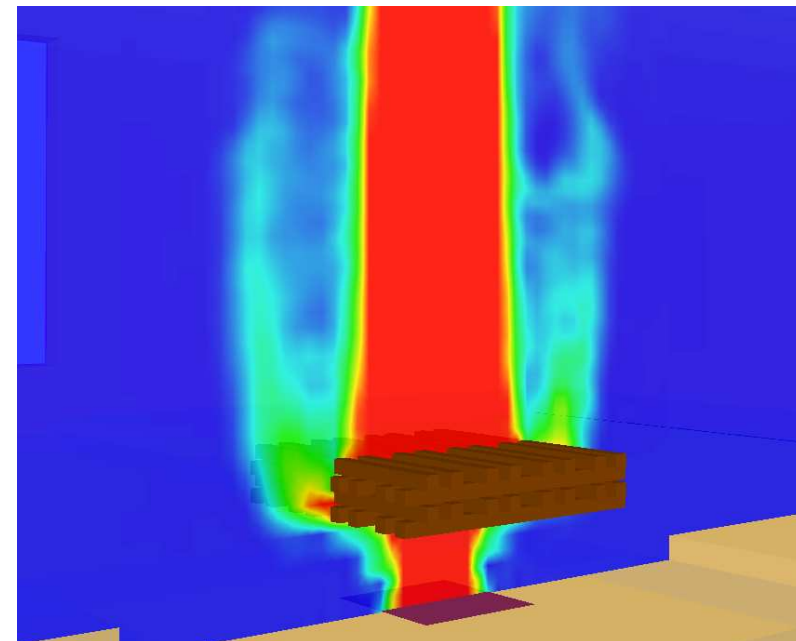
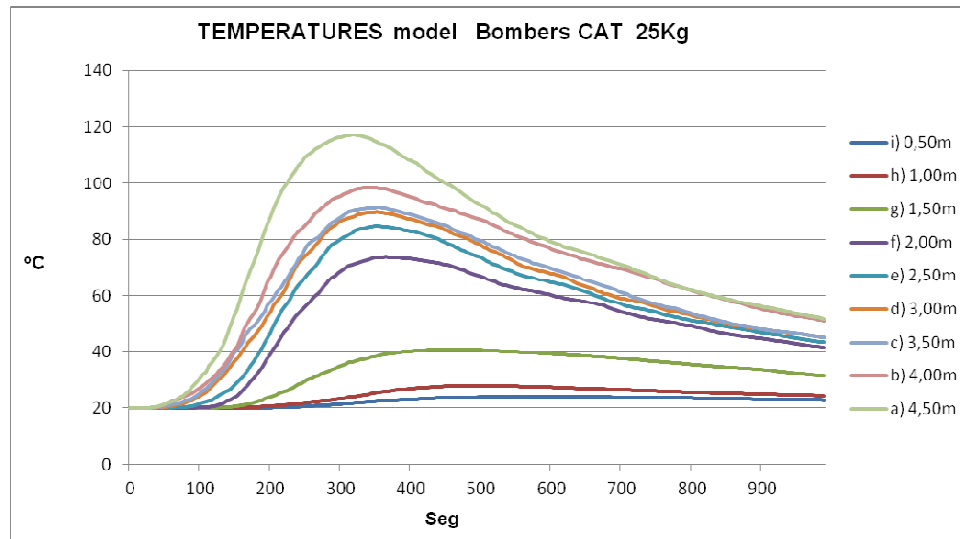
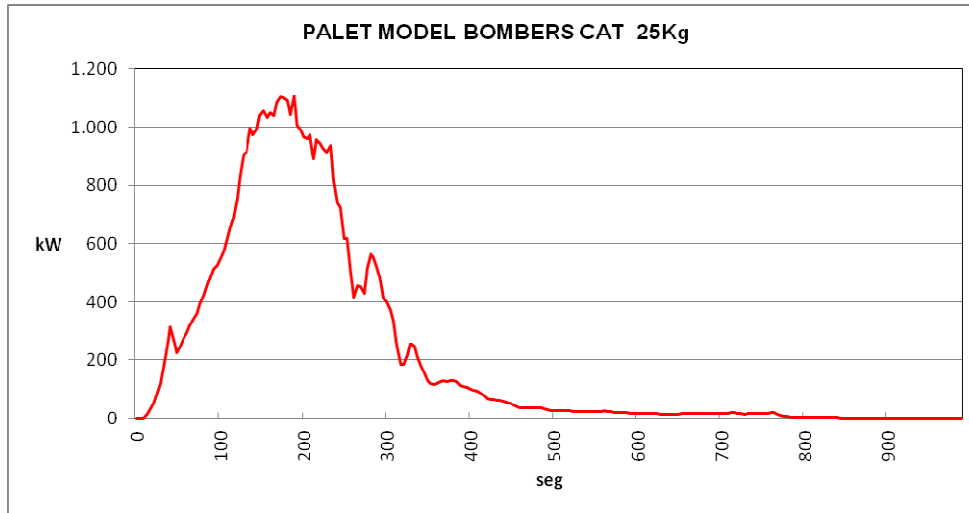
Fent la comparativa entre el model de 25kg Bombers CAT i els resultats de l'estudi Finlandès, veiem que per al termoparell "a" (situat a 4,5m d'alçada), hi ha una desviació màxima en els resultats temps-temperatura de 5°C, confirmant una correspondència molt alta dels resultats.



## 1.3. Estudis propi FDS: Model Bombers CAT 25 Kg

### **Model Bombers CAT:**

Resultat palet de fustes apilades de 25 kg. RISC BAIX 1 (100Mcal/m<sup>2</sup>)

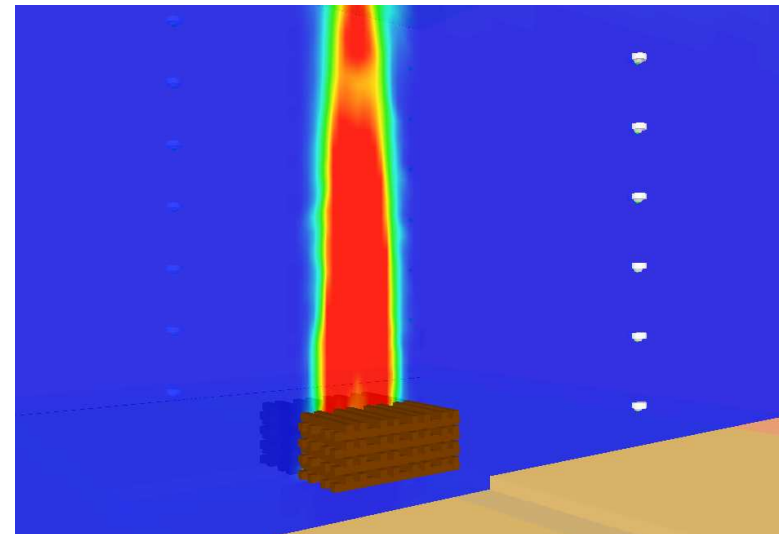
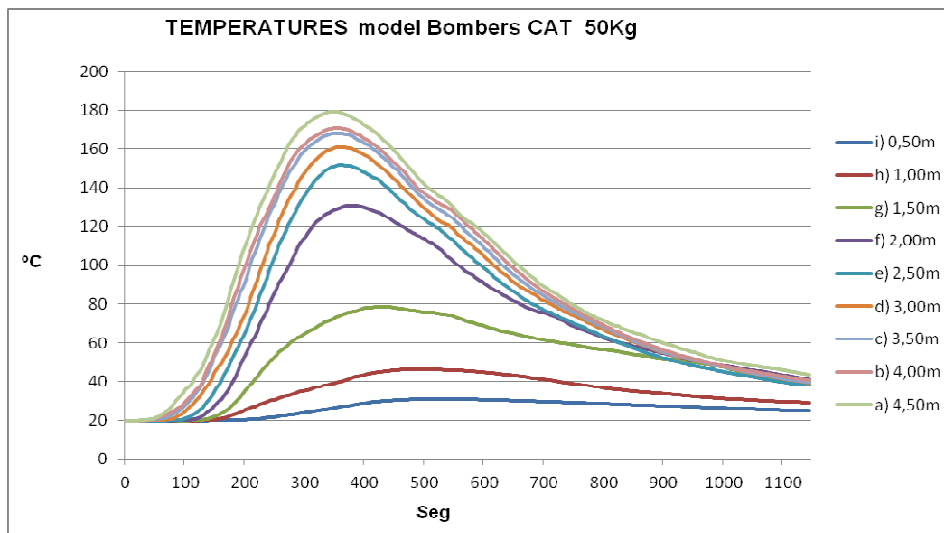
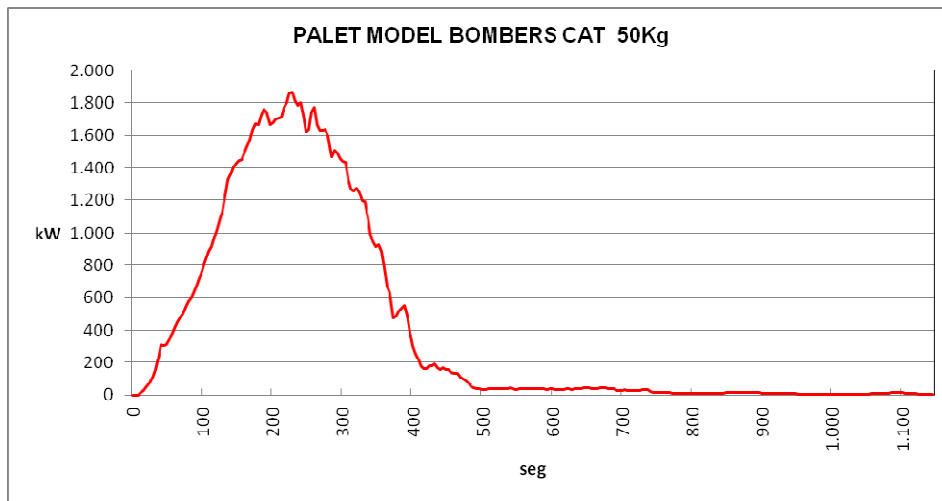




## 1.3. Estudis propi FDS: Model Bombers CAT 50 Kg

### **Model Bombers CAT:**

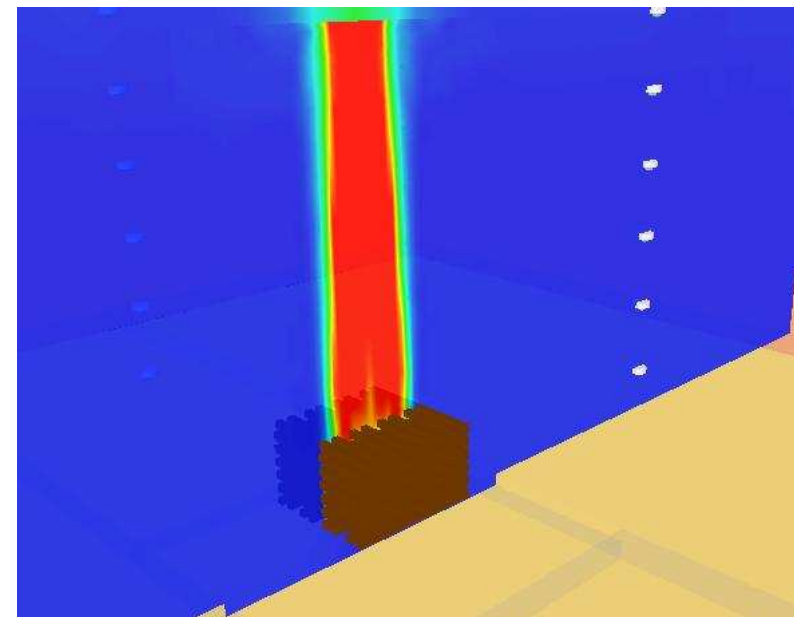
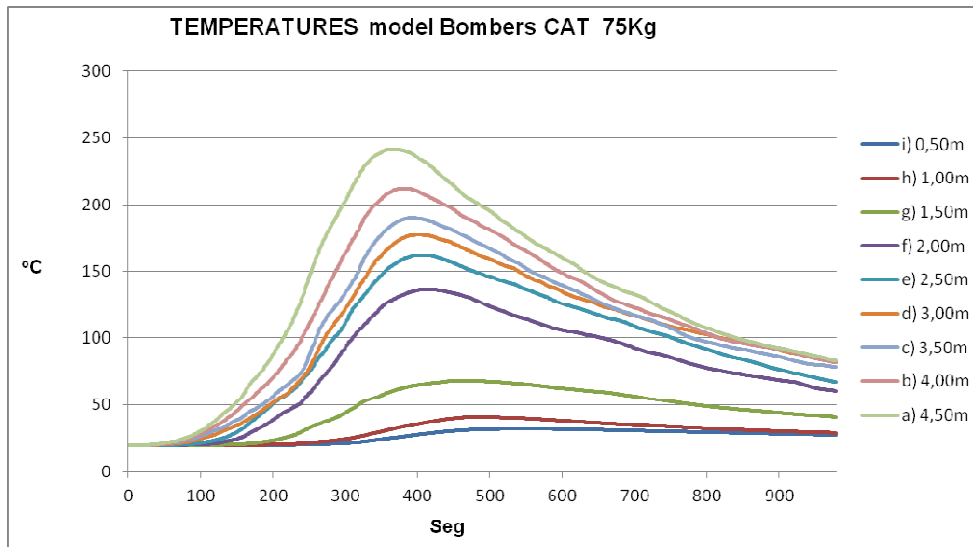
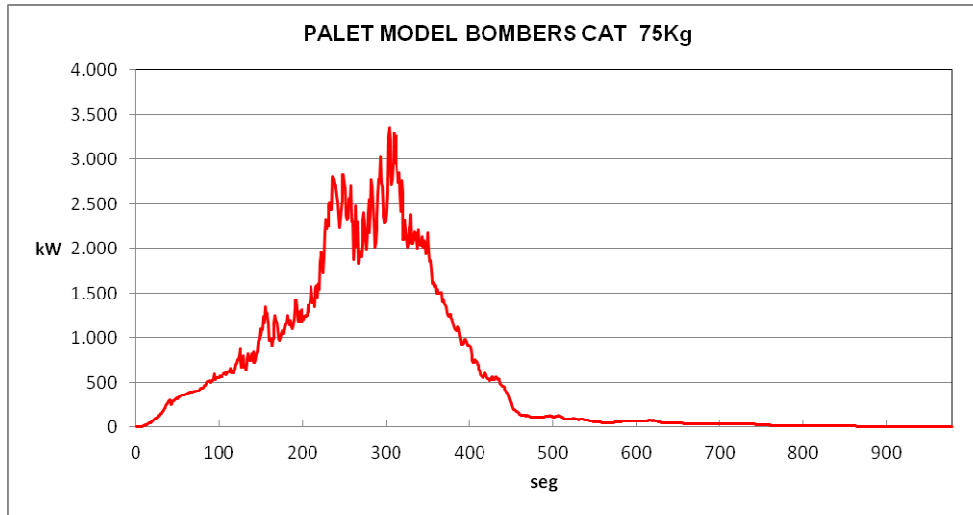
Resultat palet de fustes apilades de 50 kg. RISC BAIX 2 (200Mcal/m<sup>2</sup>)



## 1.3. Estudis propi FDS: Model Bombers CAT 75 Kg

### Model Bombers CAT:

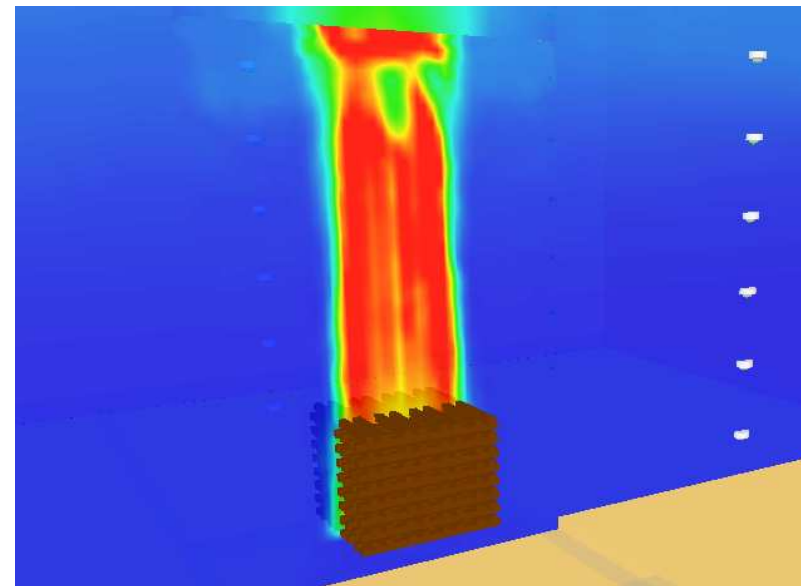
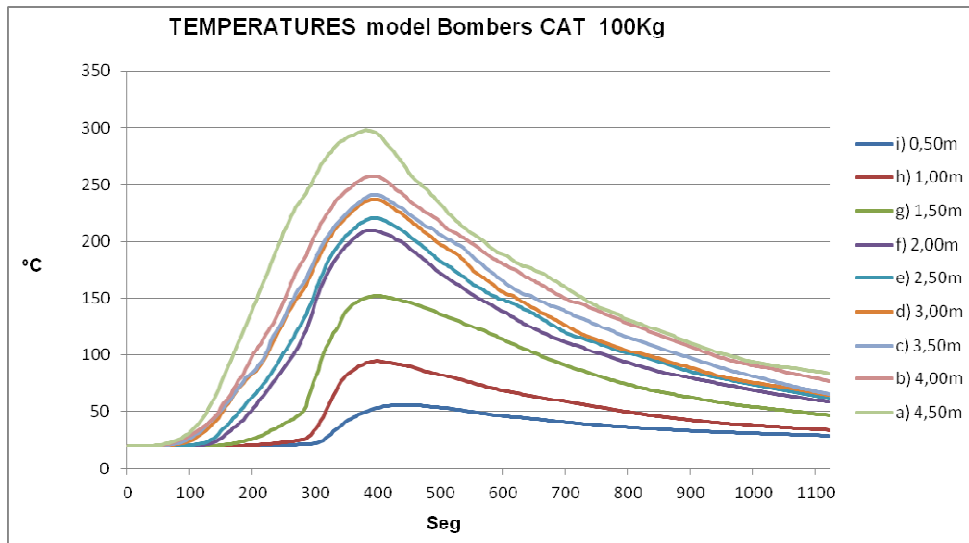
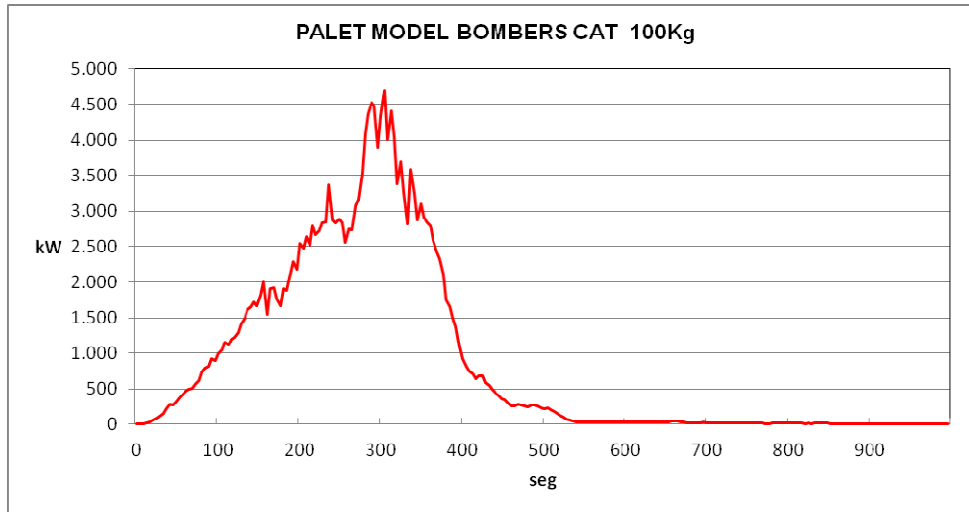
Resultat palet de fustes apilades de 75 kg. RISC MIG 3 (300Mcal/m<sup>2</sup>)



## 1.3. Estudis propi FDS: Model Bombers CAT 100 Kg

### Model Bombers CAT:

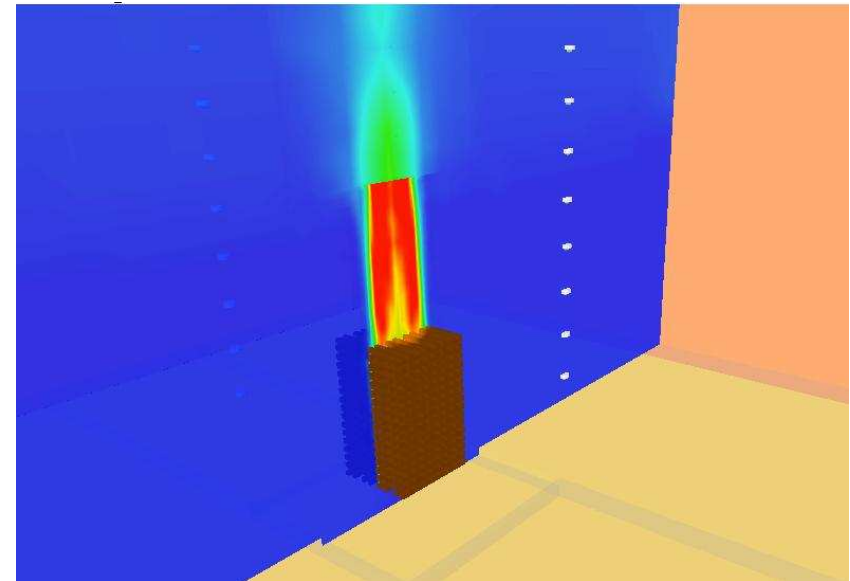
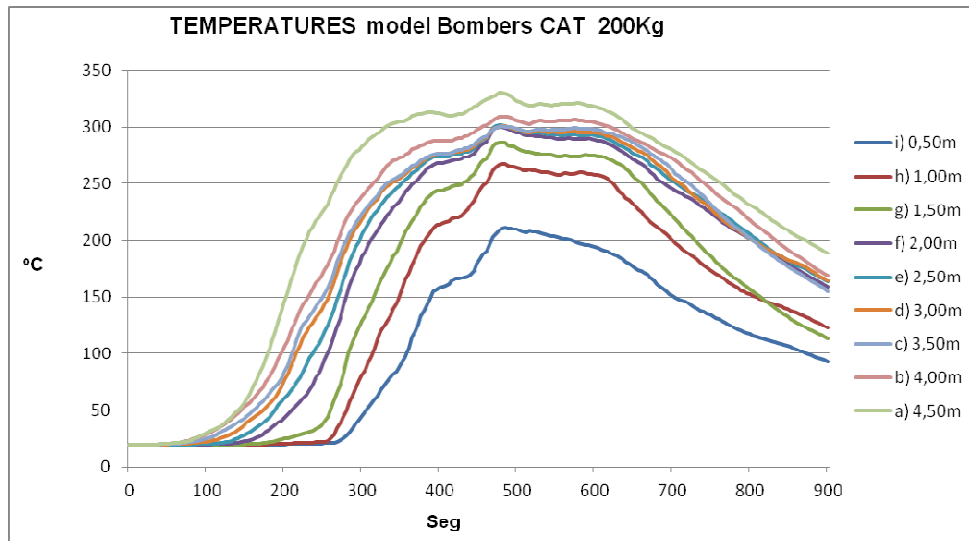
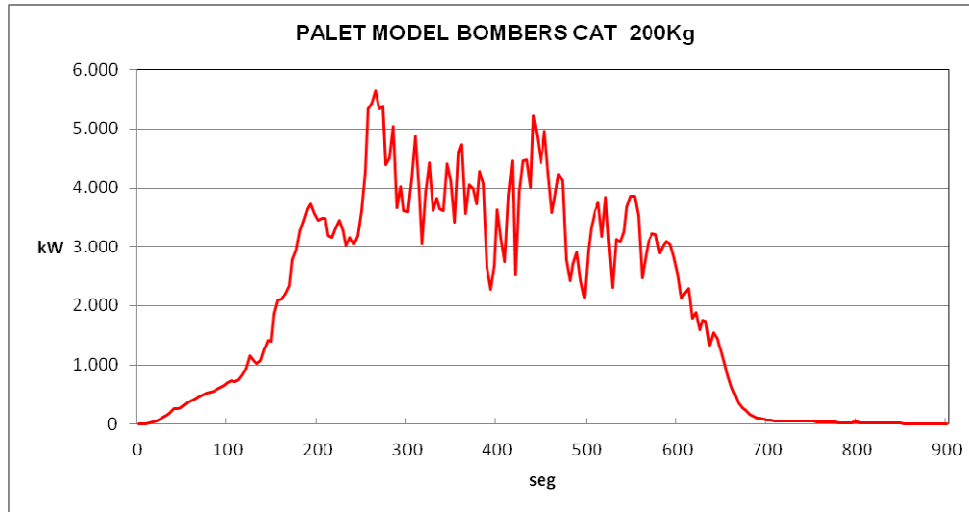
Resultat palet de fustes apilades de 100 kg. RISC MIG 4 (400Mcal/m<sup>2</sup>)



## 1.3. Estudis propi FDS: Model Bombers CAT 200 Kg

### **Model Bombers CAT:**

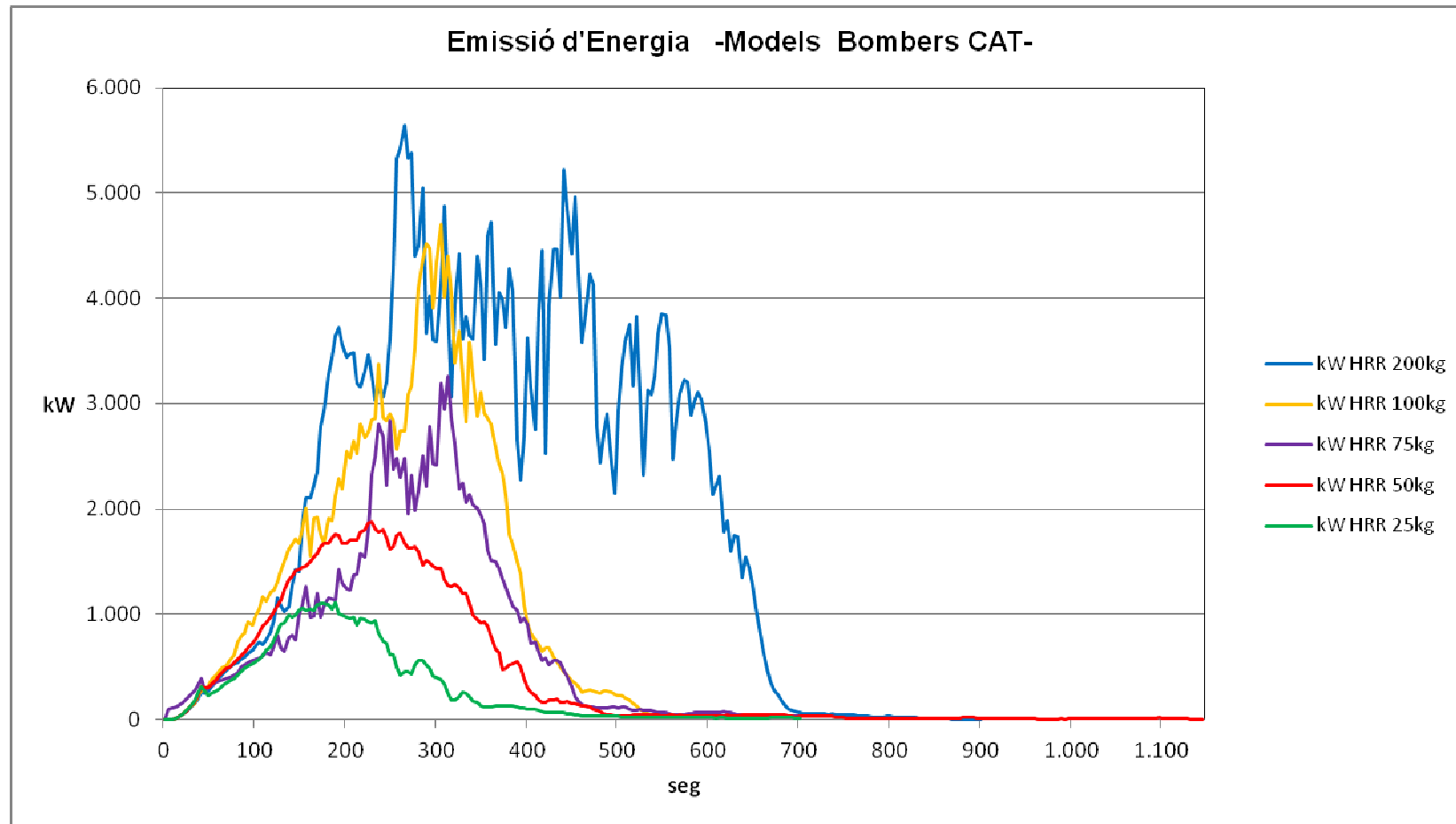
Resultat palet de fustes apilades de 200 kg. RISC MIG 5 (800Mcal/m<sup>2</sup>)



### 1.3. Estudis propi FDS: Model Bombers Resultats

#### **Efecte de l'increment de la càrrega de foc sobre els resultats :**

Un punt interessant d'analitzar és la variació del HRR amb la distribució de grups de palets, per poder determinar si hi ha una relació lineal o no respecte l'increment d'HRR o el temps de desenvolupament del model.



## ***1.4 Resultats obtinguts OZONE***

## 1.4. Resultats obtinguts model 1D - OZONE

### Paràmetres de l'incendi considerats :

S'ha considerat una càrrega de 850 MJ sobre una superfície de 10x10 m. L'incendi no sobrepassa la superfície on es troba el palet i per tant la superfície màxima és d'1 m<sup>2</sup>.

The screenshot shows the 'Fire - Palet 50kg ozone' software interface. The 'Fire Curve' section has 'EN 1991 - 1 - 2' selected. A table below lists fire parameters:

Occupancy	Fire Growth Rate	RHRf [kW/m <sup>2</sup> ]	Fire Load q <sub>f,k</sub> 80% Fractile [MJ/m <sup>2</sup> ]	Danger of Fire Activation
User Defined		300	1250	850
Description	Medium	Stacked wood pallets of height 0.5 m		1

The 'Active Fire Fighting Measures' section includes a list of measures with their respective reduction factors (δ<sub>n,i</sub>):

- Automatic Water Extinguishing System δ<sub>n,1</sub> = 1
- Independent Water Supplies (1 2) δ<sub>n,2</sub> = 1
- Automatic Fire Detection by Heat δ<sub>n,3</sub> = 1
- Automatic Fire Detection by Smoke δ<sub>n,5</sub> = 1
- Work Fire Brigade δ<sub>n,6</sub> = 0,61
- Off Site Fire Brigade δ<sub>n,8</sub> = 1,5
- Safe Access Routes δ<sub>n,8</sub> = 1,5
- Staircases Under Overpressure in Fire Alarm δ<sub>n,9</sub> = 1,5
- Fire Fighting Devices δ<sub>n,9</sub> = 1,5
- Smoke Exhaust System δ<sub>n,10</sub> = 1,5

The 'Fire Info' section shows: Max Fire Area: 1 m<sup>2</sup>, Fire Elevation: 0,5 m, Fuel Height: 1 m.

The 'Design Fire Load' section shows: Fire Risk Area: 1 m<sup>2</sup>, δ<sub>q,1</sub> = 0,58, Danger of Fire Activation: δ<sub>q,2</sub> = 1, Active Measures: ∏δ<sub>n,i</sub> = 2,0588, and the final calculation: q<sub>f,d</sub> = δ<sub>q,1</sub> δ<sub>q,2</sub> ∏δ<sub>n,i</sub> · q<sub>f,k</sub> = 812,0 MJ/m<sup>2</sup>.

The 'Combustion' section shows: Combustion Heat of Fuel: 17,5 MJ/kg, Combustion Efficiency Factor: 0,8, Combustion Model: Extended fire duration, and Stoichiometric Coefficient: 1,27.



## 1.4. Resultats obtinguts model 1D - OZONE

### HRR Resultants Palet 50 Kg:

Comparem els resultats obtinguts amb OZONE respecte els assaig realitzats:

Assaig NRC foc real:

**1382 kw**

Assaig NRC FDS:

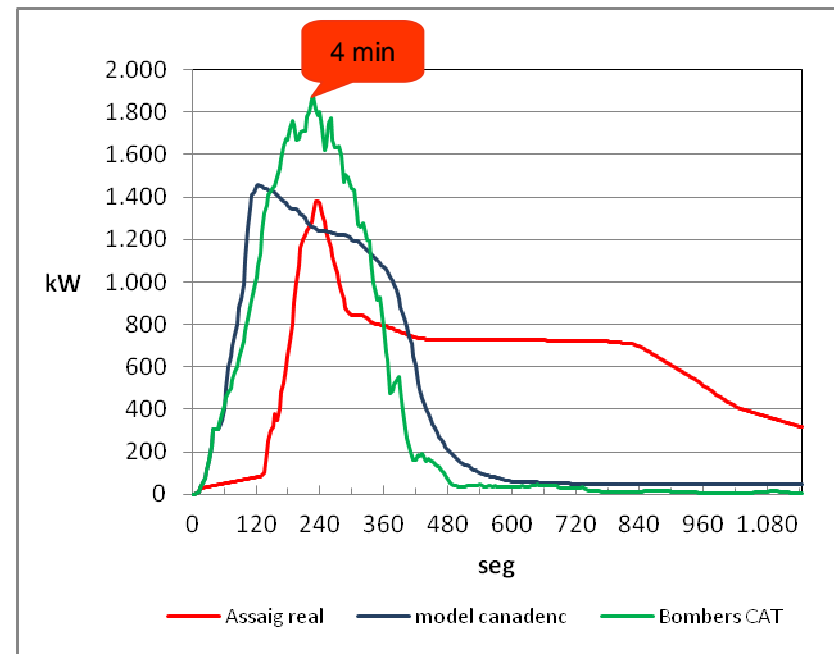
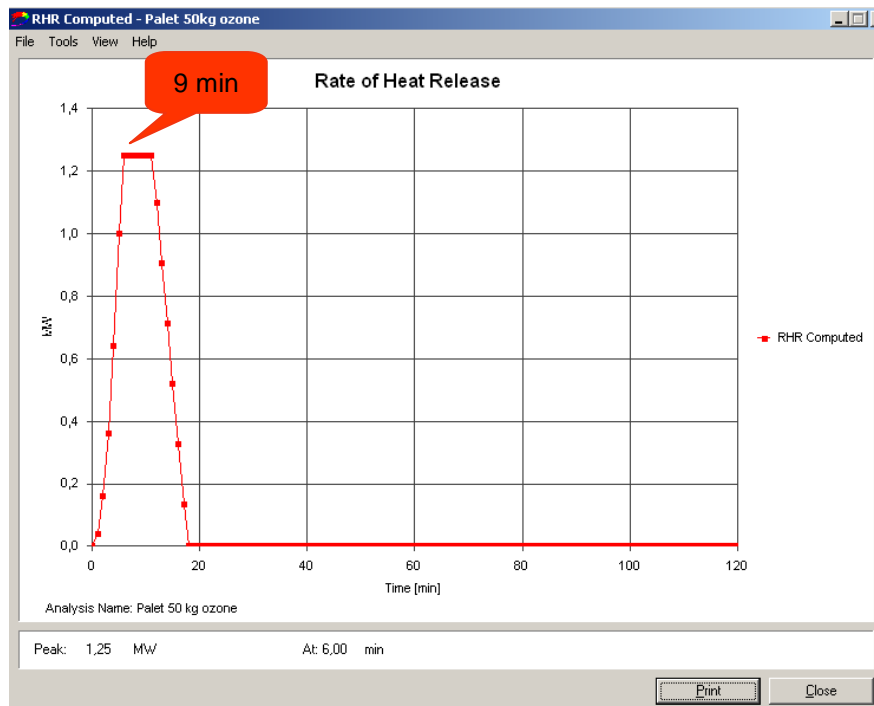
1420 kw

Assaig Bomber CAT:

1870 kw

Assaig realitzat amb OZONE:

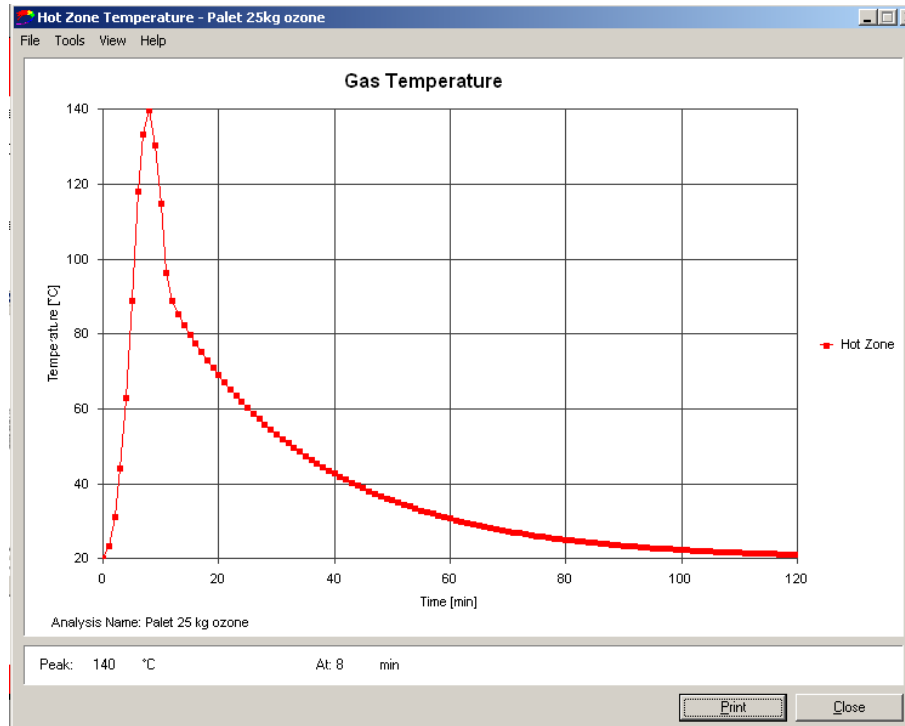
**1250 kW**



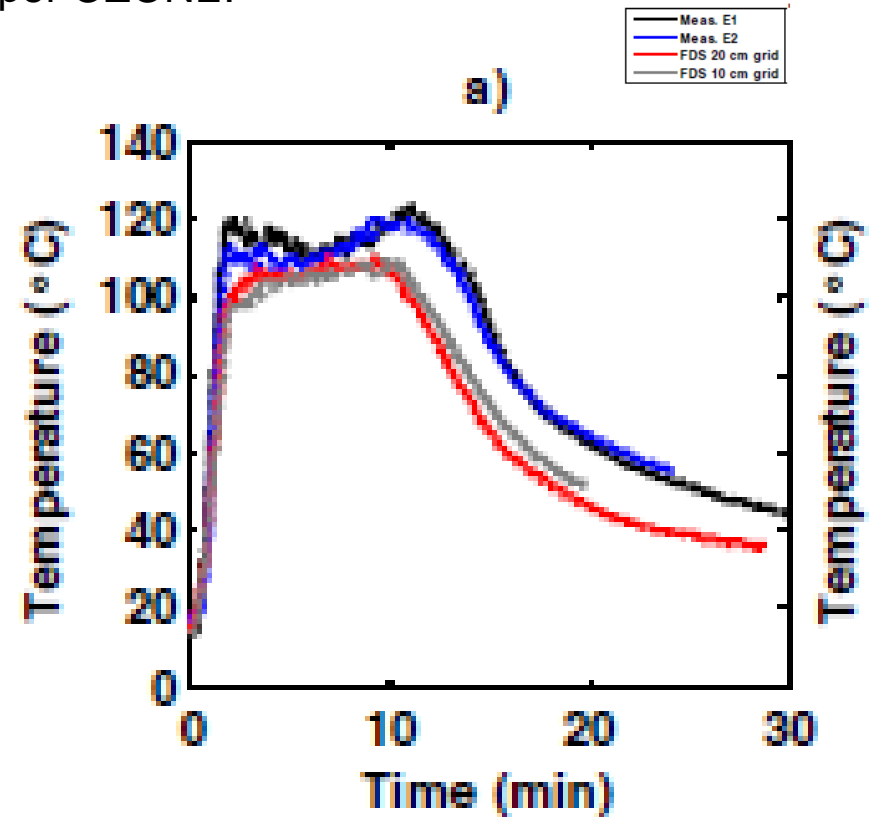
## 1.4. Resultats obtinguts model 1D - OZONE

### Resultants Palet 25 Kg (Temperatura):

Comparant els resultats obtinguts per VTT 25 Kg respecte els valors d'Ozone existeix una variació de 20 °C, amb resultats més conservadors per OZONE.



Valors obtinguts per OZONE a la capa calenta



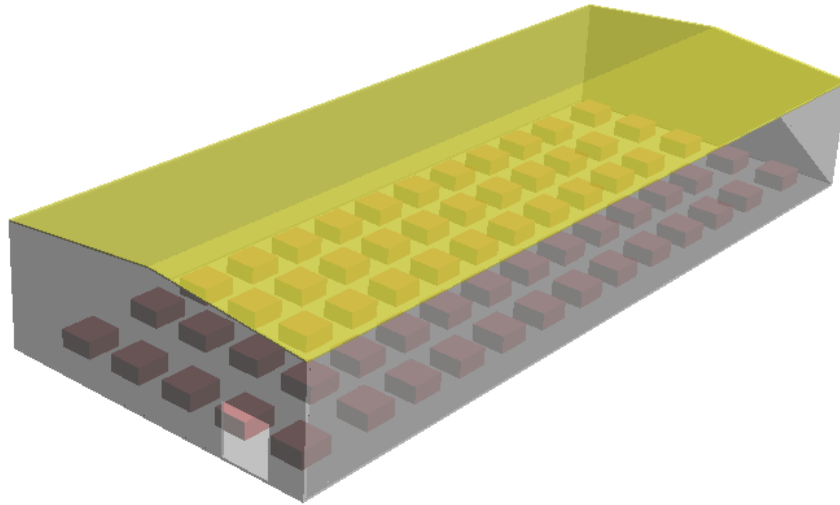
Valors obtinguts a la capa 4,5 m

## 1.5. Conclusions model combustió

### **CONCLUSIONS PALET :**

- Comparació respecte Ozone és més conservador pel que fa a temperatures i per HRR els valors mantenen una certa correspondència.
- Afectació de l'increment de càrrega de fusta  $25+25 \neq 50$  kg HRR. Variació en el desenvolupament i resultats obtinguts però mantenint una certa proporcionalitat.
- Importància del mallat en l'obtenció de resultats, com més petites són les cel·les més alts són els valors dels resultats, cal ajustar els mallats en funció de proves en escenaris reals
- Variació de resultats en funció de les versions utilitzades. Algunes versions no han funcionat bé, la versió 5.0.0, es manté més estable que la última versió 5.6.
- L'efecte de l'acumulació de combustible fa variar no linealment la distribució de Taxa d'alliberament de Calor HRR del conjunt.

## 2. Anàlisi dels primers resultats model complet

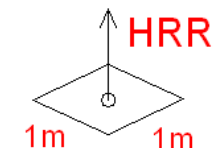
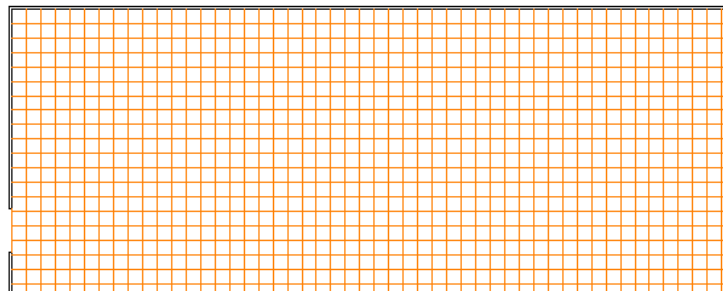


## 2.1. Definició dels models nau 1000 m<sup>2</sup>

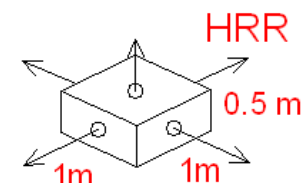
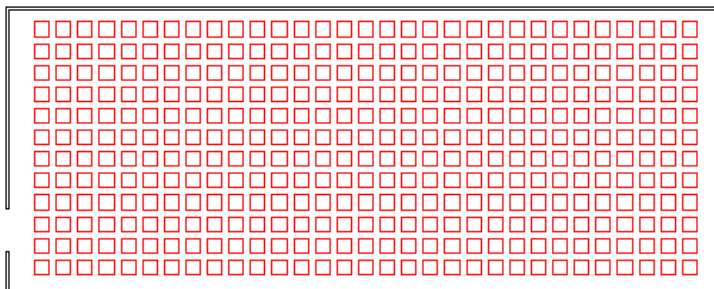
La distribució de la càrrega de foc en el sector pot fer variar els resultats de l'estudi i per tant s'han avaluat 3 hipòtesis:

1. Distribució uniforme en superfície a tot el sector.
2. Distribució uniforme volumètrica al sector (per cubs).
3. Distribució concentrada en una part de la nau

F1. EMISSION EN SUPERFÍCIE. DISTRIBUCIÓ TEÒRICA



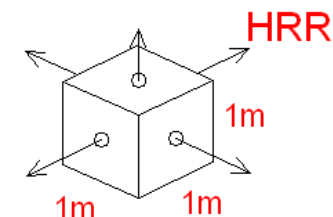
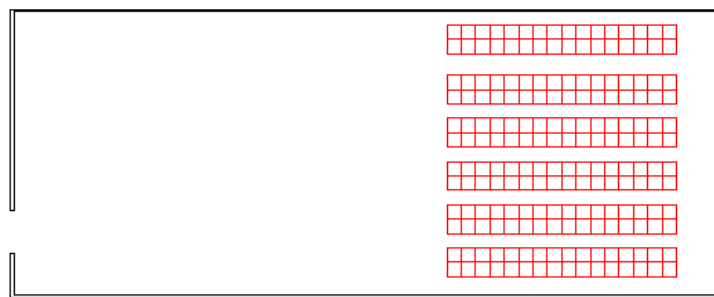
F2. EMISSION CAXES REPARTIDES UNIFORMEMENT. DISTRIBUCIÓ REGULAR



3 m<sup>2</sup> Emissió  
Ponderar superfície

PLANTA BAIXA

F3. EMISSION CAXES REPARTIDES. DISTRIBUCIÓ REALISTA



3 m<sup>2</sup> Emissió  
Ponderar superfície

PLANTA BAIXA

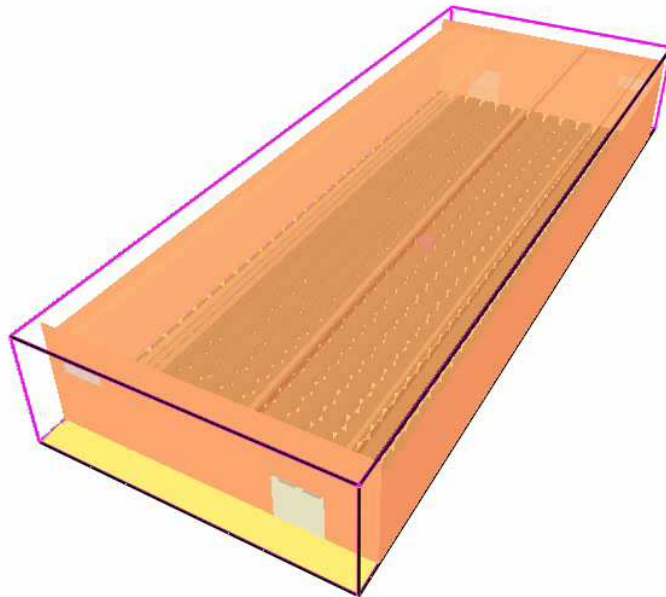
## 2.1. Definició dels models nau 1000 m<sup>2</sup>

D'acord amb els requeriments de l'annex II i III RSCIEI per a establiments industrials de tipus B:

### Risc baix 2

Superfície màxima en tipus A	1000 m <sup>2</sup>
Estructura portant	R 60
Paret mitgera	REI 120
SCTIF	No
Sistema automàtic de detecció	No
Sistema manual d'alarma	Sí
BIEs	No

Model de combustió per cubs.



Frame: 0  
Time: 0.0



Iniciem l'incendi amb un cub central amb la corba HRR del palet de 50 kg model Bombers CAT.

Per tots els models, utilitzarem una malla de càlcul (x,y,z) de 50x50x25cm

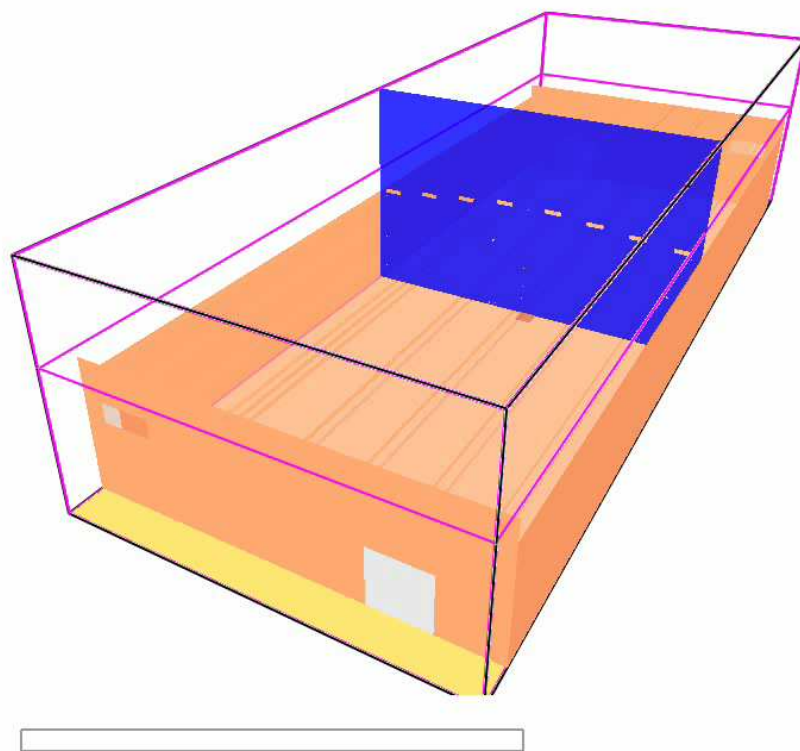
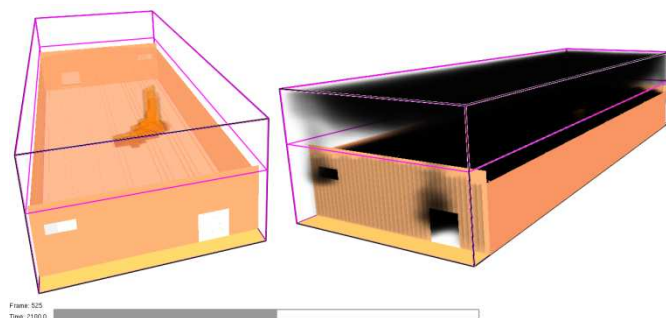
Els cubs són de 1x1x1m amb un gruix de 13 mm per tal de garantir el 50 kg per unitat

La disposició de combustible fa que l'incendi no propagui i s'autoextingeixi

En tots els models la primera porta s'obre als 15 min i la segona als 20 min.

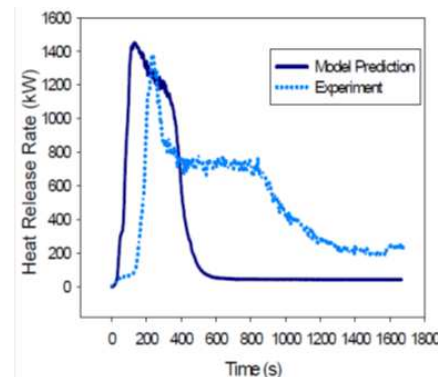
Les finestres es trencaran per temperatura als 300 °C





### Distribució de plans a tota la superfície

Utilitzem la corba HRR del palet de 50kg del model canadenc.

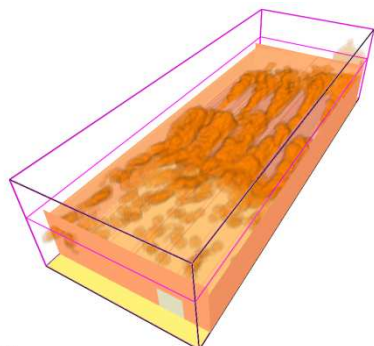


Iniciem l'incendi amb un pla emissor d'energia d' 1x1m.

Fem que la resta de plans s'encenguin en el moment en que la temperatura d'exposició arribi als 300 °C.

La poca energia alliberada per cada pla sumada amb la poca entrada de comburent fa que no propagui a tota la nau.

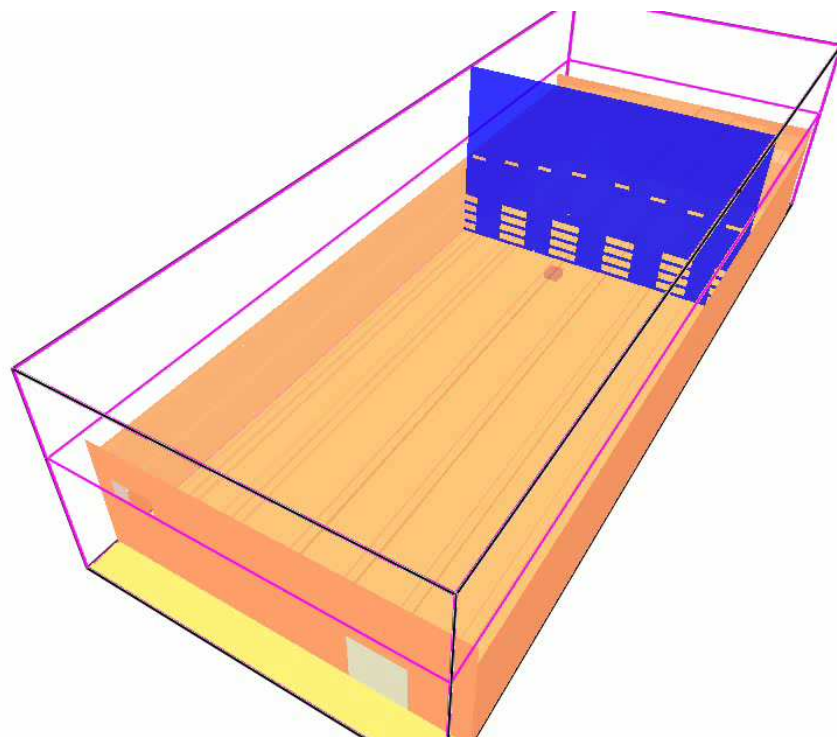
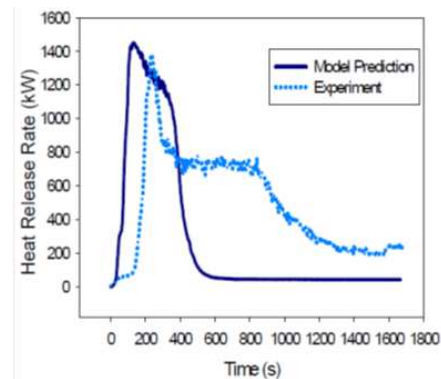




Frame: 0  
Time: 0.0

**Apilem cubs i deixem una zona lliure de càrrega i descàrrega**

Utilitzem la corba HRR del palet de 50kg del model canadenc.



970  
875  
780  
685  
590  
495  
400  
305  
210  
115  
20.0  
mesh: 1

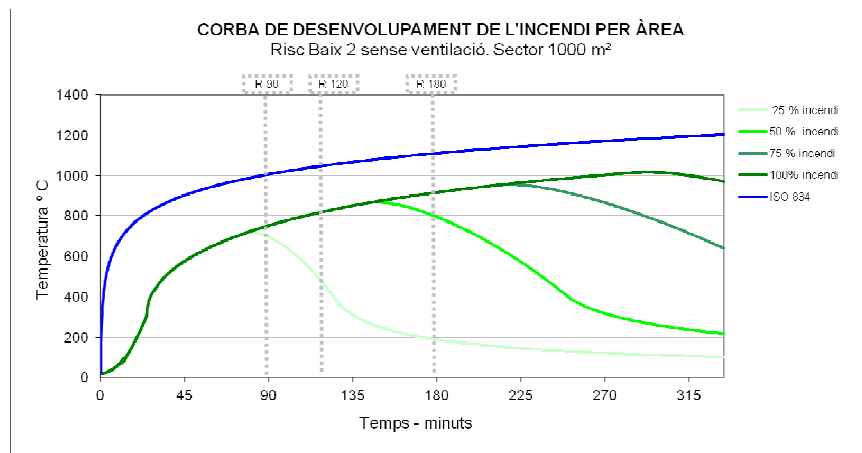
Frame: 0  
Time: 0.0

Iniciem l'incendi amb un cub emissor d'energia d' 1x1x0,50m.

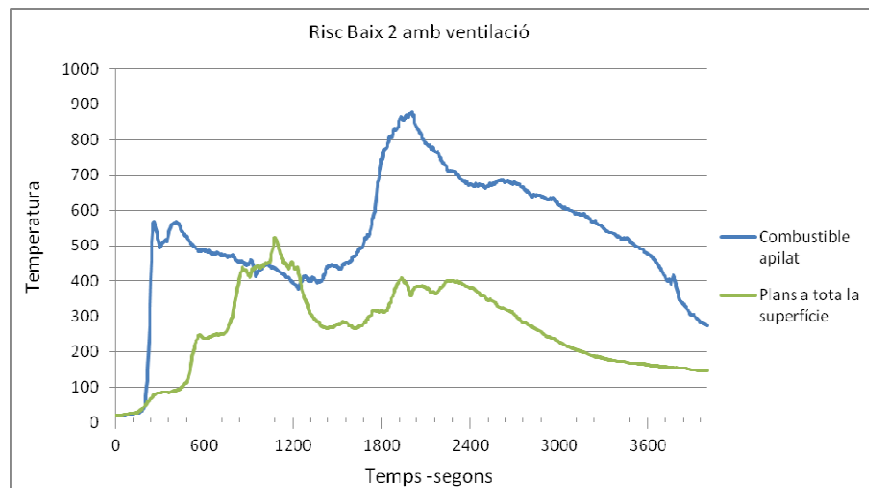
Fem que la resta de cubs s'encenguin en el moment en que la temperatura d'exposició arribi als 300 °C.

El fet que la càrrega estigui tant apilada, fa que la temperatura pugui molt ràpidament i la propagació sigui molt ràpida, als 4min comença una ràpida propagació i això provoca dèficit de comburent.

### Ozone



### FDS



### Càlculs FDS a 4.000 segons

Per tal de veure la tendència d'evolució de l'incendi, comparem les corbes obtingudes per l'Ozone i per l'FDS.

Amb l'Ozone, obtenim un incendi més prolongat en el temps i de tendència logarítmica.

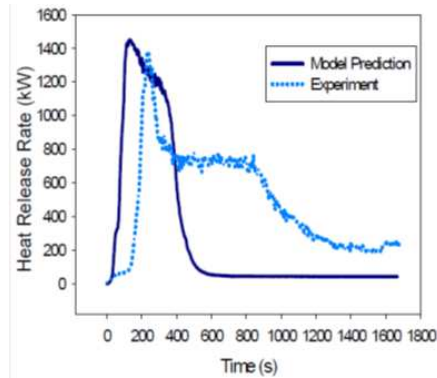
En el cas de l'FDS la tendència és a incendis més ràpids, amb pics de temperatura més elevats però per sota la corba de l'Ozone en conjunt, podríem dir tendència "polinòmica".

*La poca càrrega de foc, afecta a l'evolució de l'incendi.*

*Foc totalment desenvolupat als 30min però ràpidament es produeix la fase de decreixement i segons la tendència, l'extinció serà avanç de les 2 hores.*

## Distribució de plans a tota la superfície i activació d'aquests per temps (Forcem l'incendi)

Utilitzem la corba HRR del palet de 50kg del model canadenc.

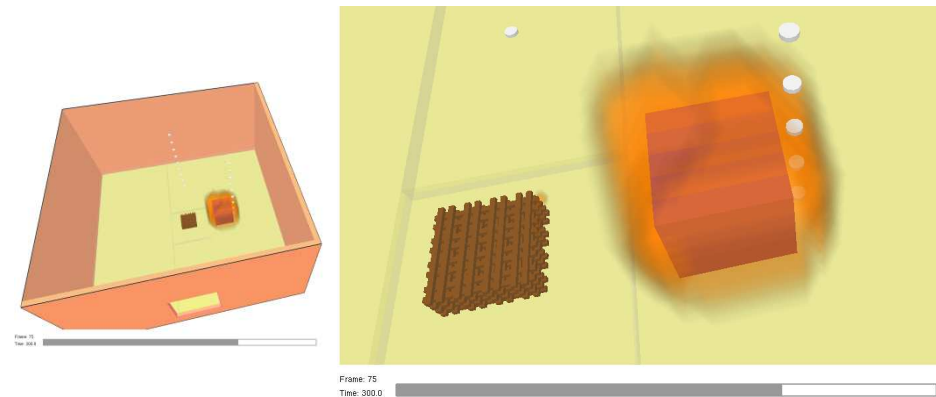


Iniciem l'incendi amb un pla emissor d'energia d' 1x1m.

Fem que la resta de plans s'encenguin en el moment en que la temperatura d'exposició arribi als 300 °C.

La poca energia alliberada per cada pla sumada amb la poca entrada de comburent fa que no propagui a tota la nau.

Per tal de simular l'incendi amb la màxima fiabilitat utilitzant les corbes HRR, i forçant propagació de l'incendi per temps, analitzarem quin és el temps que triga a propagar l'incendi des de un cub amb la corba HRR del model Bombers CAT de 50kg i el palet del mateix model.

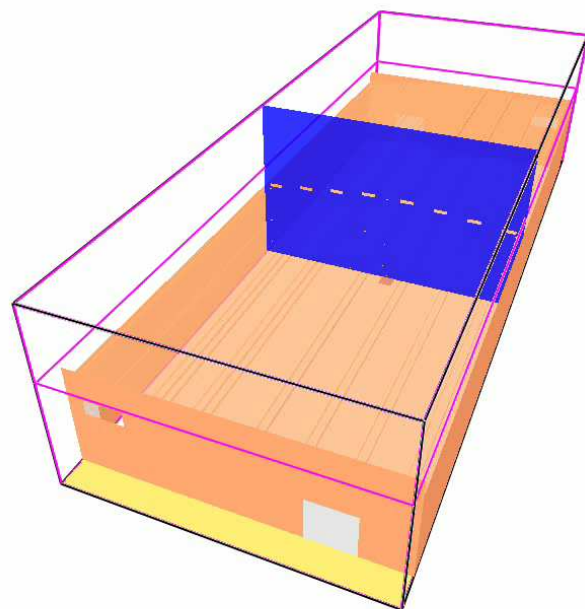


Veiem que a partir del 300 s el palet de 50 kg es comença a encendre.

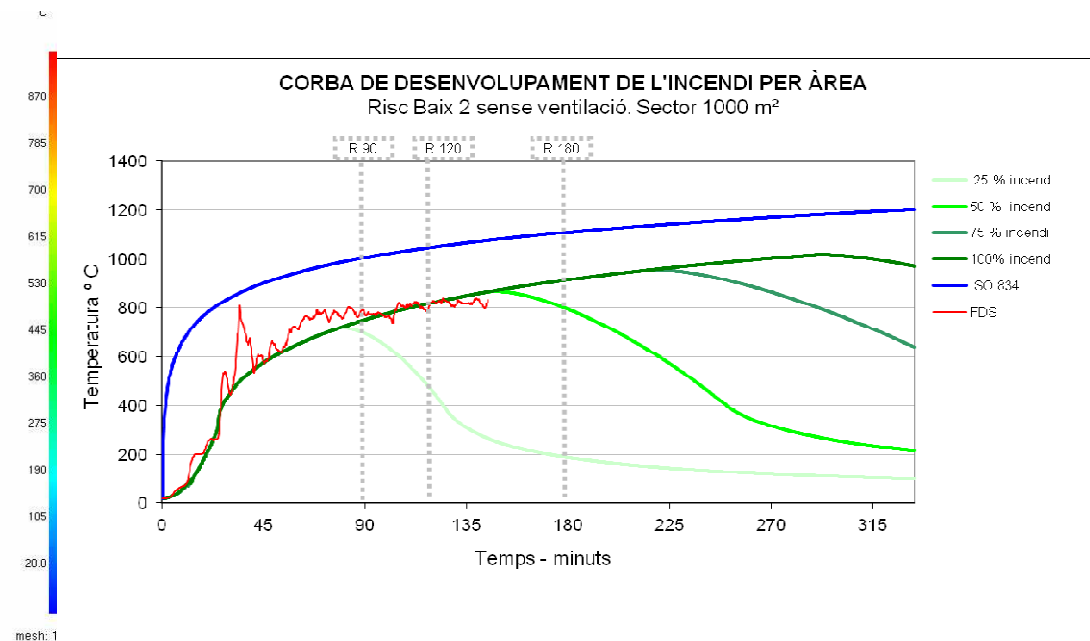
## Distribució de plans a tota la superfície i activació d'aquests per temps

Iniciem l'incendi amb un pla emissor d'energia d' 1x1m.

Considerem l'opció més desfavorable o conservadora i activem cada pla 300seg després d'encendre's el contigu.



Frame: 0  
Time: 0.0



Veiem que fins-hi tot utilitzant la opció més conservadora, el desenvolupament de l'incendi no s'allunya de la corba de l'Ozone.

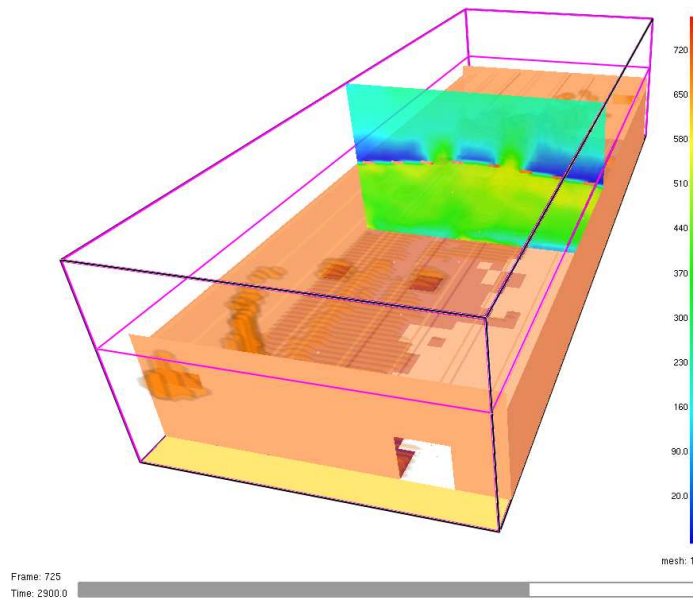
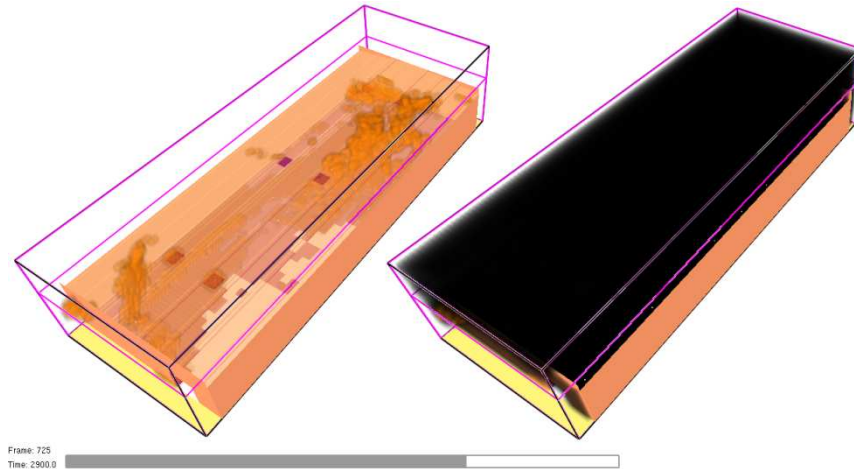
### Distribució de plans a tota la superfície

Utilitzem la corba HRR del palet de 50kg del model canadenc.

Iniciem l'incendi amb un pla emissor d'energia d'1x1m.

Fem que la resta de plans s'encenguin en el moment en que la temperatura d'exposició arribi als 300 °C.

Tot i la poca energia alliberada per cada pla, l'efecte xemeneia o de tiratge dels exutoris i les portes, fa que l'incendi propagui a la nau.





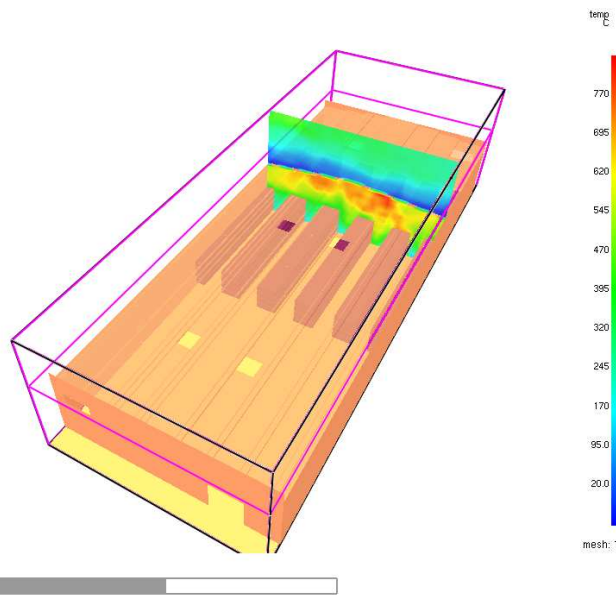
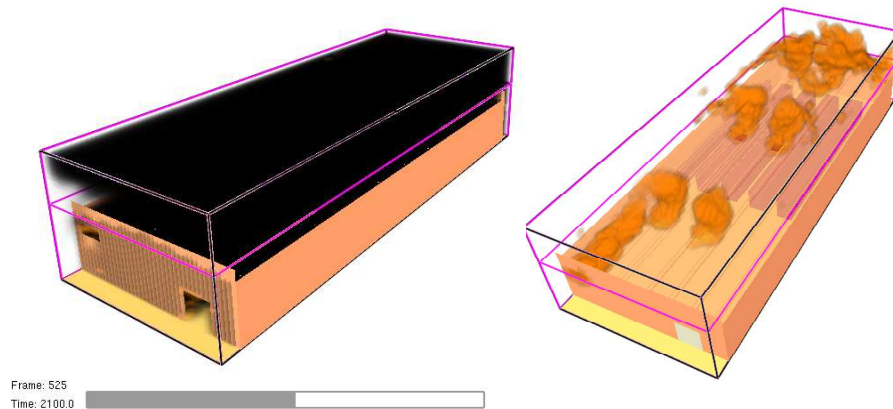
**Apilem cubs i deixem una zona lliure de càrrega i descàrrega**

Utilitzem la corba HRR del palet de 50kg del model canadenc.

Iniciem l'incendi amb un cub emissor d'energia d' 1x1x0,50m.

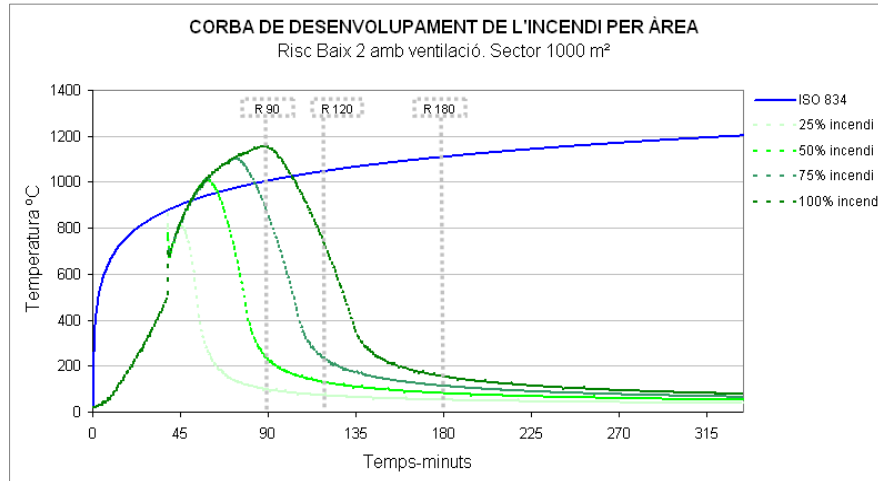
Fem que la resta de cubs s'encenguin en el moment en que la temperatura d'exposició arribi als 300 °C.

El fet que la càrrega estigui tant apilada, fa que la temperatura pugi molt ràpidament i la propagació sigui molt ràpida i arribant a temperatures de 1000°C.

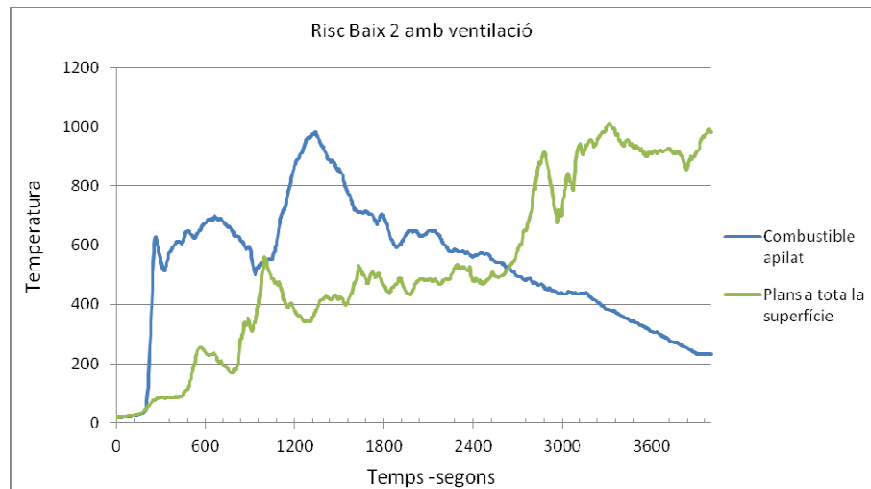




**Ozone**



**FDS**



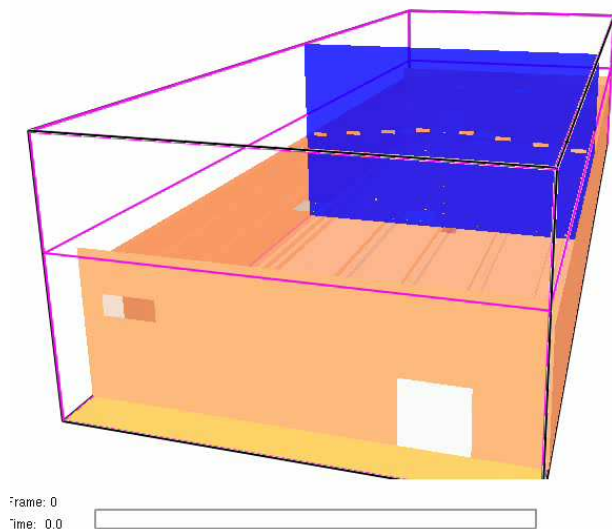
**Càlculs FDS a 4.000 segons**

Per tal de veure la tendència d'evolució de l'incendi, comparem les corbes obtingudes per l'Ozone i per l'FDS.

Amb l'Ozone, obtenim un incendi més prolongat en el temps i de tendència logarítmica.

En el cas de l'FDS el comportament dels dos supòsits és molt diferent:

- En la nau on apilem el combustible, l'evolució és molt ràpida, s'arriba al pic màxim de temperatura avanç dels 30min i a partir d'aquí comença la fase de decreixement.
- En canvi distribuint la càrrega a tota la superfície, la tendència de l'incendi és d'evolució creixent i caldria analitzar-ne el comportament passats els 4000seg.

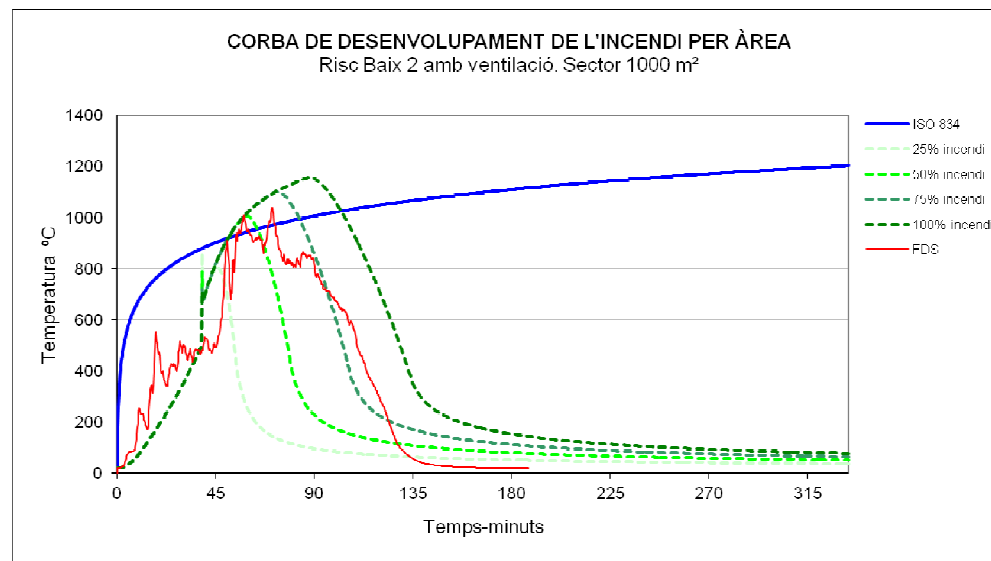


La corba FDS, s'ajusta perfectament a la de l'Ozone i en general lleugerament per sota, S'acosta més a la corba del 75% d'incendi que no a la del 100%.



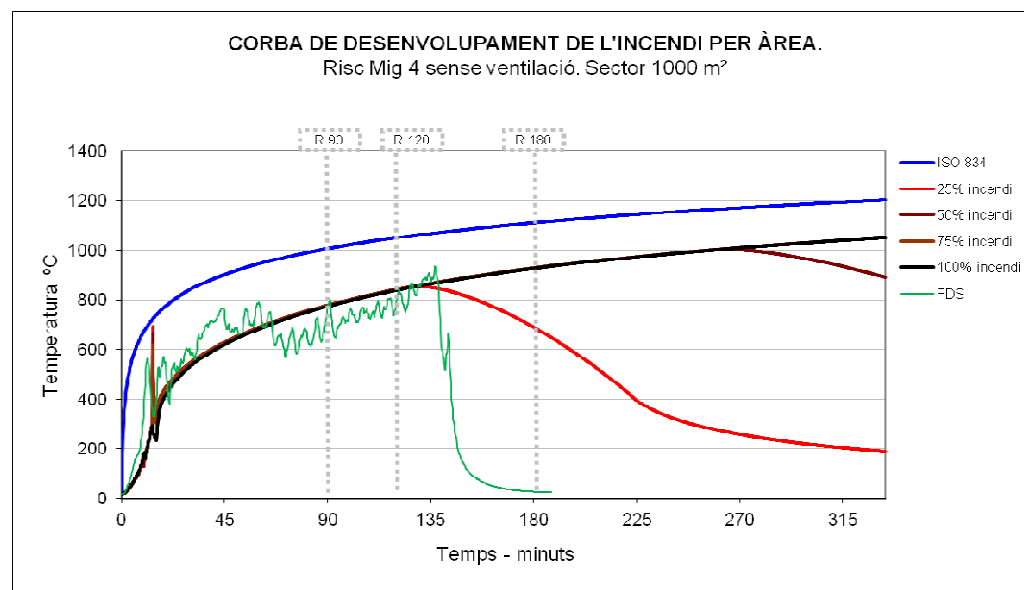
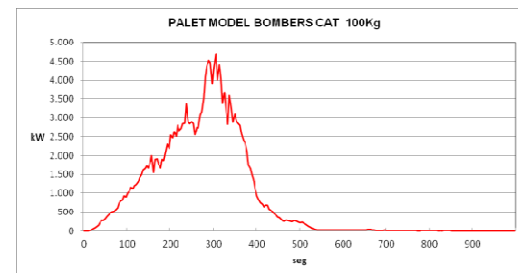
### Distribució de plans a tota la superfície

Utilitzem la corba HRR del palet de 50kg del model canadenc.  
 Iniciem l'incendi amb un pla emissor d'energia d' 1x1m.  
 Fem que la resta de plans s'encenguin en el moment en que la temperatura d'exposició arribi als 300 °C.



### Distribució de plans a tota la superfície i activació d'aquests per temps

Per tal de contrastar els resultats obtinguts amb el Risc Baix 2, farem una prova de control amb un model sense aparents problemes de propagació, el Risc Mig 4. Utilitzem la corba HRR del palet de 100kg del model Bombers CAT. Utilitzarem el mètode més conservador i forcem la propagació, activant un pla cada 300seg.



Veiem com també en aquest cas, l'Ozone dona valors més elevats de temps i temperatura. L'incendi en l'FDS, s'acaba molt abans, segurament degut al fet que l'hem governat per temps.

## 5. Conclusions per a l'aplicació del RSCIEI en naus tipus A horitzontals



## CONCLUSIONS :

- El programa *Fire dynamics simulator* es confirma com una eina molt potent pel que fa a la representació virtual dels incendis, però cal tenir present:

-Els models de combustió que dóna directament el programa estan subjectes a variacions molt importants en funció dels diferents paràmetres adoptats: mallat, característiques físiques i distribució geomètrica.

- Cal disposar de corbes d'incendis reals, per poder considerar que l'incendi representat s'ajusta a la realitat. Ha d'haver un treball de comparació previ.

-La modelització completa de la càrrega de foc existent en una nau industrial es fa inviable sense una discretització prèvia que es pot fer:

- Adoptant superfícies emissores en planta, introduint corbes d'incendis reals sobre "cubs emissors", o bé cremant cubs d'un material tipus. S'ha considerat el model plans amb corbes HRR per la fiabilitat dels resultats.

- La distribució del combustible a la nau, demostra que pot produir variacions significatives pel que fa als resultats. I per tant s'adopta una distribució de combustible concentrat per:

Valorar l'efecte del foc directe sobre l'estructura

Per obtenir valors conservadors i dels costat de la seguretat

El treball paral·lel entre models d'1D i 3D es confirma com una via complementària per tal de validar els valors obtinguts.

# GRÀCIES

Servei de Prevenció. Bombers de la Generalitat

Joan Gallart Olivé. Cap del servei de prevenció

Albert González Mayans. Tècnic del servei de prevenció

Eduard Caimel Monfuleda. Expert en simulacions