



Durante la segunda anualidad del proyecto, se ha finalizado el paquete de trabajo 3 (Tarea 3.2), el paquete de trabajo 4 (Tarea 4.1, 4.2, 4.3) y el paquete de trabajo 5 (Tarea 5.1 y Tarea 5.2). De la misma forma se ha continuado con paquetes de trabajo que se desarrollan a lo largo de todo el tiempo de ejecución del proyecto, concretamente los paquetes de trabajo PT8 (Difusión), PT9 (Transferencia de resultados) y PT7 (Gestión/Coordinación).

| |
|--|
| Paquete de trabajo 3 – Hipótesis inicial de correlaciones reacción/resistencia al fuego |
| Paquete de trabajo 5 – Conocimiento de las desviaciones de la hipótesis formulada y forma de mejorar la correlación |
| Paquete de trabajo 5 – Conocimiento correlación reacción-resistencia al fuego |

Vinculado a los paquetes de trabajo 3, 4 y 5, se ha elaborado el **entregable 5.1 (E5.1)** que tiene por título: *“Modelización para correlación reacción-resistencia al fuego”*.

1 GENERACIÓN DE HIPÓTESIS.

Cabe recordar que el objetivo primordial del proyecto REFOC es la investigación de las **relaciones** existentes entre el comportamiento de los materiales a la **reacción al fuego** y el comportamiento de los productos, construidos con dichos **materiales**, a la **resistencia al fuego**.

Durante la primera anualidad del proyecto se llevaron a cabo ensayos de caracterización de materiales de diversa naturaleza que suelen ser empleados en soluciones constructivas finales. Los parámetros que se consideraron más relevantes para la realización de las modelizaciones de ensayos de resistencia al fuego de la segunda anualidad del proyecto fueron: la densidad, la conductividad térmica, y el comportamiento frente a la reacción al fuego (ensayos de reacción al fuego). En el entregable 2.2 se recogieron todos los resultados y se generó una base de datos que alimentara a los parámetros empleados durante la modelización para estudiar su influencia e investigar una posible relación entre éstos y los resultados de ensayos de resistencia al fuego.

1.1. Información relevante para generación de hipótesis.

Para poder formular hipótesis de cierta lógica y consistencia se considera fundamental tener presente varios factores:

- comportamiento frente al fuego observado en los ensayos de **reacción al fuego**; no hay que limitarse a la clasificación de reacción al fuego obtenida, sino también hay que tener presente cuándo y cómo se produce la generación de calor, si existe generación de gotas o partículas en llamas, etc... No menos importantes son los datos de **conductividad térmica** y la **densidad**, ya que ambos están íntimamente relacionados con la capacidad de transmisión de calor de los materiales.



- Metodología de los **ensayos** de **resistencia** al fuego; es fundamental conocer qué parámetros son los medidos/observados durante la realización de los ensayos, sabes los criterios de fallo, los requisitos que conducen a diferentes clasificaciones, etc...
- **Legislación vigente**; con el fin de evitar la formulación de una hipótesis demasiado ambiciosa o alejada de propósito de la modelización.

1.2. Ensayos físicos-mecánicos y de reacción al fuego

Aquellos materiales que hayan obtenido una mejor clasificación en los ensayos de **reacción al fuego** según Euroclases EN 13501-1, deberán ser aquellos que tengan mayor probabilidad de contar con un mejor comportamiento en los ensayos de resistencia al fuego.

No obstante también hay que tener en cuenta que aquellos materiales que posean una **conductividad térmica menor** deberían arrojar mejores prestaciones que aquellos materiales que sean buenos conductores del calor.

Materiales con un **mayor espesor** y una **mayor densidad**, deberían ofrecer mejores resultados de resistencia al fuego.

Para corroborar estas entrelazadas hipótesis se analizaran mediante modelización tres materiales con distintos resultados en los ensayos de caracterización.

- **Tablero contrachapado ignifugado.**
- Tablero inerte de **fibrosilicato cálcico**
- Plancha de **poliestireno expandido**

Tabla 1. Propiedades físicas de los materiales estudiados en la modelización.

| | Fibrosilicato cálcico | Tablero contrachapado | Plancha poliestireno |
|--|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Densidad (kg/m³) | 870 | 560 | 18 |
| Espesor (mm) | 19 | 19 | 40 |
| Conductividad térmica (W/m K) | 0.175 | 0.102 | 0.038 |
| Calor específico (J/ kg K) | 840 | 3965 | 1400 |
| Módulo de Young (Pa) | $2,9 \cdot 10^9$ | $1.3 \cdot 10^{10}$ | $3.2 \cdot 10^9$ |
| Coefficiente de Poisson | 0,3 | 0.26 | 0.34 |
| Coefficiente de expansión térmica (°C⁻¹) | $2,23 \cdot 10^{-5}$ | 0.15 | 0.036 |

1.3. Metodología de los ensayos resistencia al fuego

Hay tres características principales del comportamiento de resistencia al fuego, que son: **R, E, I**

R representa la **capacidad portante** de un elemento estructural, es decir, la capacidad de dicho elemento de soportar durante un período de tiempo y sin pérdida de la estabilidad estructural la exposición al fuego en una o más caras, bajo acciones mecánicas definidas;

E representa la **integridad** de un elemento constructivo, con función separadora, es decir, la capacidad de no dejar paso a llamas o gases calientes que puedan producir la ignición de la cara no expuesta al fuego del mismo o de cualquier material adyacente a esa superficie. El fallo del criterio de capacidad portante también se considera fallo de la integridad.

I representa el **aislamiento** de un elemento constructivo con función separadora, es decir, la capacidad de dicho elemento de soportar la exposición al fuego en un solo lado, de forma que no se supere una temperatura determinada en la cara no expuesta al fuego.

En el caso concreto de las **puertas y cierres de huecos** existen dos clases de aislamiento: **I1** e **I2**. Estas dos clases consisten en dos definiciones de aislamiento diferentes en función de la temperatura alcanzada en el marco de la puerta durante el ensayo, resultando la clase I1 más estricta, de modo que cumplir I1 implica cumplir I2, pero no al revés. La clase exigida en el DB SI es siempre la I2.

Estos parámetros van acompañados de un valor que es el período de tiempo en minutos durante el cual se mantienen los requisitos de comportamiento: 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 ó 360, por lo que podemos encontrar elementos con distintas posibles clasificaciones combinando las tres letras y el tiempo (por ejemplo: REI 90, EI60 o únicamente R120).



Por otro lado, existen unas características adicionales opcionales que pueden evaluarse: radiación, aspectos mecánicos, aptitud de cierre automático y estanquidad frente al humo. La necesidad de efectuar la clasificación conforme a estas características opcionales depende de la reglamentación nacional y puede especificarse en ciertas condiciones y para determinados elementos.

Por ejemplo, las puertas resistentes al fuego deben llevar también un **distintivo C**, relativo a la calidad del cierre automático, que puede clasificarse con valores de 1 a 5. En el DB SI se exige siempre el valor 5, que es el más exigente y equivale a 200.000 ciclos de funcionamiento.

Las puertas resistentes al fuego no tienen Marcado CE pero sí sus componentes, que deben ensayarse conforme a las siguientes normas:

- **UNE-EN 1154:2003.** Herrajes para la edificación. Dispositivos de cierre controlado de puertas.
- **UNE-EN 1158:2003.** Herrajes para la edificación. Coordinación de puertas.
- **UNE-EN 1155:2003.** Herrajes para la edificación. Dispositivos de retención electromagnética para puertas batientes.
- **UNE-EN 179:2009.** Herrajes para la edificación. Dispositivos de emergencia accionados por una manilla o un pulsador para recorridos de evacuación.
- **UNE-EN 1125:2009.** Herrajes para la edificación. Dispositivos antipánico para salidas de emergencia accionadas por una barra horizontal.
- **UNE-EN 1935/AC:2004.** Herrajes para la edificación. Bisagras de un solo eje.
- **UNE-EN 12209:2017.** Herrajes para edificación. Cerraduras y cerraderos mecánicos.

La normativa consulta con respecto al dimensionamiento y comprobación de estructuras de madera sometidas a cargas de fuego es la siguiente:

- **Eurocódigo 1:** Acciones en estructuras. Parte 1.2: Acciones generales. Acciones en estructuras expuestas al fuego
- **Código Técnico de la Edificación**, en su Documento Básico **DB-SI**-Seguridad en caso de incendio
- **Eurocódigo 5:** Proyecto de estructuras de madera. Parte 1.2: Reglas para el proyecto de estructuras de madera frente al fuego

Criterios generales de los ensayos de resistencia al fuego

Mediante los ensayos de Resistencia al Fuego se pretende evaluar el comportamiento frente al fuego de los elementos empleados en el ámbito de la construcción, valorando durante cuánto tiempo un elemento sigue cumpliendo la función para la que estaba destinado cuando se desarrolla un incendio.

Normativa general aplicable:

- **UNE-EN 1363-1:2015.** Ensayos de resistencia al fuego. Parte 1: Requisitos generales.
- **UNE-EN 1363-2:2000.** Ensayos de resistencia al fuego. Parte 2: Procedimientos alternativos y adicionales.
- **UNE-EN 1364-1:2000.** Ensayos de resistencia al fuego de elementos no portantes. Parte 1: Paredes.
- **UNE-EN 1634-1:2016+A1:2018.** Ensayos de resistencia al fuego y de control de humo de puertas y elementos de cerramiento de huecos, ventanas practicables y herrajes para la edificación. Parte 1: Ensayos de resistencia al fuego de puertas, elementos de cerramiento de huecos y ventanas practicables.
- **UNE-EN 13501-2:2019.** Clasificación en función del comportamiento frente al fuego de los productos de construcción y elementos para la edificación. Parte 2: Clasificación a partir de datos obtenidos de los ensayos de resistencia al fuego excluidas las instalaciones de ventilación.

Los ensayos de Resistencia al Fuego consisten en la aplicación, sobre los elementos portantes y/o separadores ensayados, de un determinado nivel de acción térmica. Habitualmente se llevan a cabo en **hornos horizontales** cuyas características geométricas pueden verse en la Figura 1 adjunta, apropiados para ensayar elementos lineales de grandes dimensiones, tipo viga, losa, forjado y pilar, en los que además es posible la aplicación de cargas mediante dos pórticos de carga, uno con 4 pistones que sirve para elementos superficiales tipo losa o forjado, y otro dotado de un pistón de carga apto para elementos lineales tipo viga o pilar.

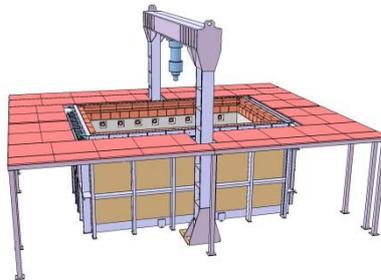


Figura 1. Reproducción 3D de horno horizontal.

Cuando los elementos a ensayar están relacionados con elementos de sectorización vertical sometidos o no a carga, como pueden ser puertas cortafuegos, divisiones verticales, etc... Se usan hornos verticales como el de la Figura 2.

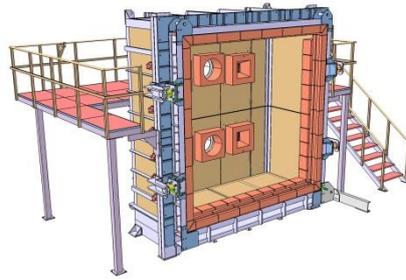


Figura 2. Reproducción 3D de horno vertical.

En el interior de estos hornos, se generan mediante la quema de hidrocarburos, la curva normalizada tiempo-temperatura es la curva nominal definida en la norma **UNE-EN 1363-1:2015** para representar un modelo de fuego totalmente desarrollado en un sector de incendio.

Está definida por la expresión:

$$T = 20 + 345 \log_{10} (8t + 1) [^{\circ}\text{C}]$$

Dónde:

T es la temperatura media del horno ($^{\circ}\text{C}$)

t es el tiempo desde el inicio del incendio (min)

La curva normalizada tiempo-temperatura supone, aproximadamente, las siguientes temperaturas:

Tabla 2. Curva normalizada tiempo-temperatura definida en la norma UNE-EN 1363-1:2015.

| Tiempo t, en minutos | 15 | 30 | 45 | 60 | 90 | 120 | 180 | 240 |
|---|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| Temperatura en el sector T (en $^{\circ}\text{C}$) | 740 | 840 | 900 | 950 | 1000 | 1050 | 1100 | 1150 |

En el apartado 5.1.2 de la norma UNE-EN 1363-1:2015 se establece el porcentaje de desviación (d) en el área de la curva obtenida de la temperatura media cuyo registro se realiza mediante los termopares del horno.

Tabla 3. Tolerancias en la desviación del área de la curva de temperatura para la norma UNE-EN 1363-1:2015.

| Tolerancia | Intervalo |
|-----------------------|------------------|
| 15 % | $5 < t \leq 10$ |
| $[15 - 0,5(t-10)]$ % | $10 < t \leq 30$ |
| $[5 - 0,083(t-30)]$ % | $30 < t \leq 60$ |
| 2,5 % | $t > 60$ |

Nota: t es el tiempo en minutos



En la norma UNE-EN 1363-1:2015, se detalla el método de ensayo, la instrumentación necesaria para llevar a cabo las mediciones, cuándo y cómo deben llevarse a cabo las mediciones durante la realización del ensayo, etc... No detallamos este proceso pero consideramos fundamental tener en cuenta los criterios que evalúan el comportamiento de la muestra y que conducirán a la clasificación final del producto.

En el apartado 11 de la citada norma, se establecen los criterios de comportamiento.

11.1 Capacidad portante (R)

Este es el tiempo en minutos completos, en el cual la muestra continúa manteniendo su capacidad para soportar la carga de ensayo durante la duración de éste. La capacidad de soporte de la carga de ensayo se determina tanto por la cuantía como por la velocidad de la deformación, calculadas a partir de las medidas tomadas de acuerdo al apartado 10.4.4.2. Debido a que es posible que ocurran deformaciones relativamente rápidas hasta lograr condiciones de estabilidad, el criterio referente a la velocidad de deformación es de aplicación durante los 10 min iniciales del ensayo de resistencia al fuego.

Para el propósito de esta norma, el fallo en la capacidad portante se considera que ha ocurrido cuando uno de los dos criterios siguientes haya sido superado:

a) Para elementos en carga a flexión

- Límite de flexión

$$D = \frac{L^2}{400d} \text{ mm}; o$$

- Límite de la velocidad de flexión

$$\frac{dD}{dt} = \frac{L^2}{9000d} \text{ mm/min}$$

Donde

L es la distancia entre apoyos de la muestra, en mm;

d es la distancia desde el límite extremo de la zona de trabajo a compresión en frío hasta el límite extremo de la zona de trabajo en tensión en frío de una sección estructural, en mm.

b) Para elementos en carga verticales a compresión:

- Límite de la contracción vertical (elongación negativa)

$$C = \frac{h}{100} \text{ mm}; o$$

- Límite de la velocidad de contracción (elongación negativa)



$$\frac{dC}{dt} = \frac{3h}{1000} \text{ mm/min}$$

Donde

h es la altura inicial, en mm, de la muestra de ensayo una vez que la carga ha sido aplicada.

11.2 Integridad (E)

Consiste en el tiempo en minutos completos en los cuales la muestra de ensayo continúa manteniendo su función separadora durante el ensayo, sin:

- a) causar la **ignición** del **tampón de algodón** aplicado de acuerdo a lo establecido en el apartado 10.4.5.2; o
- b) **permitir** la **penetración de la galga de medida** tal y como se especifica en el apartado 10.4.5.3; o
- c) dar como resultado las **llamas sostenidas**.

El momento del fallo es el momento del final de la medición, es decir, cuando se hace finalmente la observación.

11.3 Aislamiento (I)

Este es el tiempo en minutos completos durante el cual la muestra continúa mantenido su función separadora durante el ensayo sin desarrollar temperaturas elevadas en su cara no expuesta, las cuales:

- a) **incrementan la temperatura** media sobre la temperatura media inicial en **más de 140 K**; o
- b) **incrementan la temperatura** en cualquier punto (incluidos aquéllos en los que se utilice el termopar móvil) por encima de la temperatura inicial en **más de 180 K**.

La temperatura media inicial debe ser aquella temperatura media en la cara no expuesta de la muestra al inicio del ensayo.

Algunos elementos de construcción tienen límites para el incremento de la temperatura en la cara no expuesta diferente a los indicados anteriormente. Estos límites pueden ser de aplicación a la totalidad o a parte de la muestra de ensayo objeto de evaluación. Detalles sobre esos límites de incremento de temperatura y la localización de las áreas donde está permitido un aumento mayor se proporcionan en el ensayo específico correspondiente.

En los casos en los que la muestra incorpora áreas discretas de diferente aislamiento térmico, éstas se deben evaluar por separado de acuerdo con lo establecido en el ensayo específico, tanto para el incremento medio como para el incremento máximo de temperatura.

11.4 Efectos derivados del fallo de ciertos criterios de comportamiento

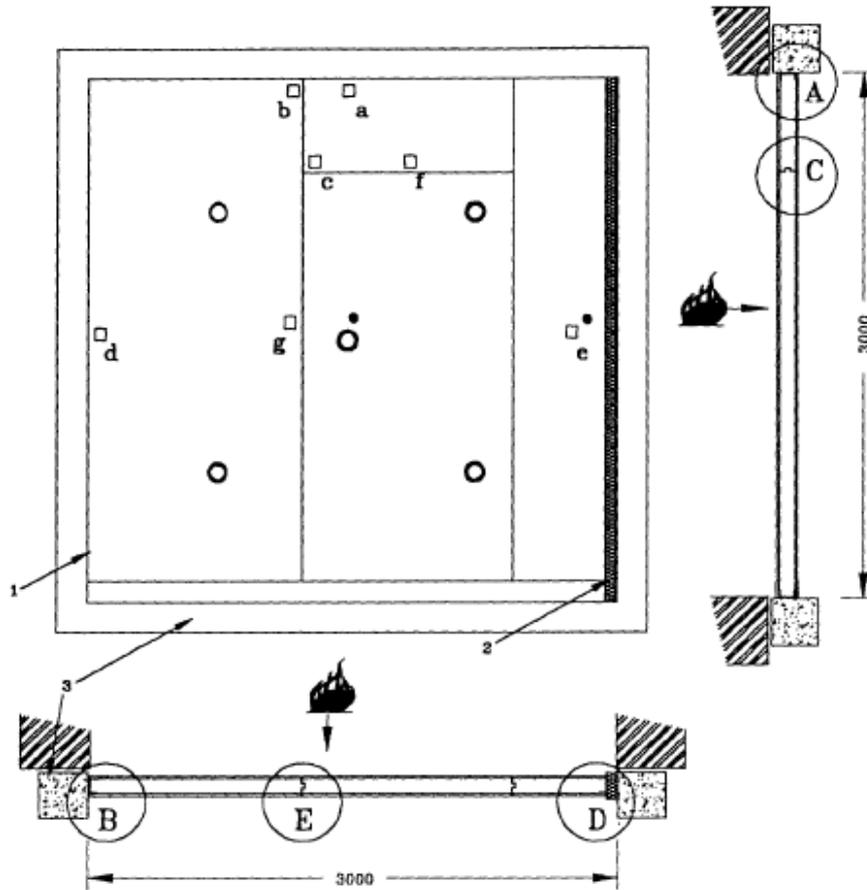
11.4.1 Aislamiento e integridad frente a capacidad portante

Los criterios de comportamiento de “aislamiento” e “integridad” deben considerarse automáticamente sin cumplimiento cuando el criterio de “capacidad portante” deja de ser satisfecho.

11.4.2 Aislamiento frente a integridad

El criterio de comportamiento “aislamiento” debe considerarse que no tiene cumplimiento cuando el criterio de “integridad” deja de ser satisfecho.

También se ha extraído importante información a tener en cuenta a la hora de realizar las simulaciones con el software de la norma **UNE-EN 1364-1**. *Ensayos de resistencia al fuego de elementos no portantes. Paredes*; como son los puntos donde se realizan las mediciones necesarias de incremento de temperatura de la cara no expuesta, temperatura máxima de la cara no expuesta, deformaciones, colocación de tampón de algodón, etc... para poder hacer un seguimiento de dichos puntos geométricos en las simulaciones para poder extrapolar los resultados en futuros ensayos reales. En la Figura 3 se recogen los distintos puntos de medida para paneles prefabricados.



- Posición de los termopares para incremento de temperatura media
 - Posición de los termopares para incremento de temperatura máxima (las letras se refieren a los termopares indicados con letra en el apartado 9.1.2.3)
 - Posición para las medidas de deformación
- 1 Borde fijo
2 Borde libre
3 Bastidor de ensayo
- A, B, C, D y E véase la figura 5

Figura 3. Esquema de posición de los termopares y las medidas de deformación para la norma UNE-EN 1364-1.



1.4. Legislación vigente relacionada con la resistencia al fuego

El **Documento Básico de Seguridad en Caso de Incendio (CTE DB SI)** del **Código Técnico de Edificación** tiene por objeto establecer reglas y procedimientos que permiten cumplir las exigencias básicas de seguridad en caso de incendio. Las secciones del DB SI se corresponden con las exigencias básicas SI 1 a SI 6. La correcta aplicación de cada Sección supone el cumplimiento de la exigencia básica correspondiente. La correcta aplicación del conjunto del DB supone que se satisface el requisito básico "Seguridad en caso de incendio".

Tanto el objetivo del requisito básico como las exigencias básicas se establecen en el artículo 11 de la Parte 1 del CTE y son los siguientes:

Artículo 11. Exigencias básicas de seguridad en caso de incendio (SI)

- 1 El objetivo del requisito básico "Seguridad en caso de incendio" consiste en reducir a límites aceptables el riesgo de que los usuarios de un edificio sufran daños derivados de un incendio de origen accidental, como consecuencia de las características de su proyecto, construcción, uso y mantenimiento.
- 2 Para satisfacer este objetivo, los edificios se proyectarán, construirán, mantendrán y utilizarán de forma que, en caso de incendio, se cumplan las exigencias básicas que se establecen en los apartados siguientes.
- 3 El Documento Básico DB-SI especifica parámetros objetivos y procedimientos cuyo cumplimiento asegura la satisfacción de las exigencias básicas y la superación de los niveles mínimos de calidad propios del requisito básico de seguridad en caso de incendio, excepto en el caso de los edificios, establecimientos y zonas de uso industrial a los que les sea de aplicación el "Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales", en los cuales las exigencias básicas se cumplen mediante dicha aplicación ⁽¹⁾.

11.1 Exigencia básica SI 1 - Propagación interior

Se limitará el riesgo de propagación del incendio por el interior del edificio.

11.2 Exigencia básica SI 2 - Propagación exterior

Se limitará el riesgo de propagación del incendio por el exterior, tanto en el edificio considerado como a otros edificios.

11.3 Exigencia básica SI 3 – Evacuación de ocupantes

El edificio dispondrá de los medios de evacuación adecuados para que los ocupantes puedan abandonarlo o alcanzar un lugar seguro dentro del mismo en condiciones de seguridad.

11.4 Exigencia básica SI 4 - Instalaciones de protección contra incendios

El edificio dispondrá de los equipos e instalaciones adecuados para hacer posible la detección, el control y la extinción del incendio, así como la transmisión de la alarma a los ocupantes.



11.5 Exigencia básica SI 5 - Intervención de bomberos

Se facilitará la intervención de los equipos de rescate y de extinción de incendios.

11.6 Exigencia básica SI 6 – Resistencia al fuego de la estructura

La estructura portante mantendrá su resistencia al fuego durante el tiempo necesario para que puedan cumplirse las anteriores exigencias básicas.

(1) A tales efectos debe tenerse en cuenta que también se consideran zonas de uso industrial: a) Los almacenamientos integrados en establecimientos de cualquier uso no industrial, cuando la carga de fuego total, ponderada y corregida de dichos almacenamientos, calculada según el Anexo 1 de dicho Reglamento, exceda de 3x10⁶ MJ. No obstante, cuando esté prevista la presencia del público en ellos se les deberá aplicar además las condiciones que este CTE establece para el uso correspondiente.

b) Los garajes para vehículos destinados al transporte de personas o de mercancías.

Es importante mencionar el **ámbito de aplicación** de este CTE DB SI, ya que tiene es el que se carácter general para el conjunto del CTE en su artículo 2 (Parte I) excluyendo los edificios, establecimientos y zonas de uso industrial a los que les sea de aplicación el “Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales”. (1) seguridad contra incendios en los establecimientos industriales”.

El contenido del DB se refiere únicamente a las exigencias básicas relacionadas con el requisito básico "Seguridad en caso de incendio". También deben cumplirse las exigencias básicas de los demás requisitos básicos, lo que se posibilita mediante la aplicación del DB correspondiente a cada uno de ellos.

El CTE no incluye exigencias dirigidas a limitar el riesgo de inicio de incendio relacionado con las instalaciones o los almacenamientos regulados por reglamentación específica, debido a que corresponde a dicha reglamentación establecer dichas exigencias.

Como en el conjunto del CTE, el ámbito de aplicación de este DB son las obras de edificación. Por ello, los elementos del entorno del edificio a los que les son de obligada aplicación sus condiciones son únicamente aquellos que formen parte del proyecto de edificación. Conforme al artículo 2, punto 3 de la ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (LOE), se consideran comprendidas en la edificación sus instalaciones fijas y el equipamiento propio, así como los elementos de urbanización que permanezcan adscritos al edificio.

Los apartados en los que se mencionan requisitos relacionados con la resistencia al fuego son principalmente el apartado 1 en el que se trata la propagación interior y el apartado 6 que se centra en los requisitos de resistencia al fuego de la estructura.

En la Sección **SI 1: “Propagación interior”** y más concretamente en el apartado 1: *“Compartimentación en sectores de incendio”* indica que los edificios se deben compartimentar en sectores de incendio según las condiciones que se establecen en la tabla 1.1 adjunta. Las superficies máximas indicadas en dicha tabla para los sectores de incendio pueden duplicarse cuando estén protegidos con una instalación automática de extinción.

A efectos del cómputo de la superficie de un sector de incendio, se considera que los locales de riesgo especial, las escaleras y pasillos protegidos, los vestíbulos de independencia y las escaleras compartimentadas como sector de incendios, que estén contenidos en dicho sector no forman parte del mismo.

La resistencia al fuego de los elementos separadores de los sectores de incendio debe satisfacer las condiciones que se establecen en la tabla 1.2 de esta Sección. Como alternativa, cuando, conforme a lo establecido en la Sección SI 6, se haya adoptado el tiempo equivalente de exposición al fuego para los elementos estructurales, podrá adoptarse ese mismo tiempo para la resistencia al fuego que deben aportar los elementos separadores de los *sectores de incendio*.

Las escaleras y los ascensores que comuniquen *sectores de incendio* diferentes o bien zonas de riesgo especial con el resto del edificio estarán compartimentados conforme a lo que se establece en el punto 3 anterior. Los ascensores dispondrán en cada acceso, o bien de puertas E 30 o bien de un *vestíbulo de independencia* con una puerta EI₂ 30-C5, excepto en zonas de riesgo especial o de uso *Aparcamiento*, en las que se debe disponer siempre el citado *vestíbulo*. Cuando, considerando dos sectores, el más bajo sea un sector de riesgo mínimo, o bien si no lo es se opte por disponer en él tanto una puerta EI₂ 30-C5 de acceso al vestíbulo de independencia del ascensor, como una puerta E 30 de acceso al ascensor, en el sector más alto no se precisa ninguna de dichas medidas.

Tabla 1.1 Condiciones de compartimentación en sectores de incendio

| Uso previsto del edificio o establecimiento | Condiciones |
|--|---|
| En general | <ul style="list-style-type: none"> - Todo <i>establecimiento</i> debe constituir sector de incendio diferenciado del resto del edificio excepto, en edificios cuyo uso principal sea <i>Residencial Vivienda</i>, los establecimientos cuya superficie construida no exceda de 500 m² y cuyo uso sea <i>Docente, Administrativo o Residencial Público</i>. - Toda zona cuyo <i>uso previsto</i> sea diferente y subsidiario del principal del edificio o del <i>establecimiento</i> en el que esté integrada debe constituir un <i>sector de incendio</i> diferente cuando supere los siguientes límites: <ul style="list-style-type: none"> Zona de <i>uso Residencial Vivienda</i>, en todo caso. Zona de alojamiento⁽¹⁾ o de <i>uso Administrativo, Comercial o Docente</i> cuya superficie construida exceda de 500 m². Zona de uso Pública Concurrencia cuya ocupación exceda de 500 personas. Zona de <i>uso Aparcamiento</i> cuya superficie construida exceda de 100 m² ⁽²⁾. Cualquier comunicación con zonas de otro uso se debe hacer a través de <i>vestíbulos de independencia</i>. - Un espacio diáfano puede constituir un único <i>sector de incendio</i> que supere los límites de superficie construida que se establecen, siempre que al menos el 90% de ésta se desarrolle en una planta, sus salidas comuniquen directamente con el espacio libre exterior, al menos el 75% de su perímetro sea fachada y no exista sobre dicho |



| | |
|--------------------------|---|
| | <p>recinto ninguna zona habitable.</p> <ul style="list-style-type: none"> - No se establece límite de superficie para los sectores de riesgo mínimo. |
| Residencial Vivienda | <ul style="list-style-type: none"> - La superficie construida de todo sector de incendio no debe exceder de 2.500 m². - Los elementos que separan viviendas entre sí deben ser al menos EI 60. |
| Administrativo | <ul style="list-style-type: none"> - La superficie construida de todo sector de incendio no debe exceder de 2.500 m². |
| Comercial ⁽³⁾ | <ul style="list-style-type: none"> - Excepto en los casos contemplados en los guiones siguientes, la superficie construida de todo sector de incendio no debe exceder de: <ol style="list-style-type: none"> 2.500 m², en general; 10.000 m² en los establecimientos o centros comerciales que ocupen en su totalidad un edificio íntegramente protegido con una instalación automática de extinción y cuya altura de evacuación no exceda de 10 m.⁽⁴⁾ - En establecimientos o centros comerciales que ocupen en su totalidad un edificio exento íntegramente protegido con una instalación automática de extinción, las zonas destinadas al público pueden constituir un único sector de incendio cuando en ellas la altura de evacuación descendente no exceda de 10 m ni la ascendente exceda de 4 m y cada planta tenga la evacuación de todos sus ocupantes resuelta mediante salidas de edificio situadas en la propia planta y salidas de planta que den acceso a escaleras protegidas o a pasillos protegidos que conduzcan directamente al espacio exterior seguro.⁽⁴⁾ - En centros comerciales, cada establecimiento de uso Pública Concurrencia: <ol style="list-style-type: none"> en el que se prevea la existencia de espectáculos (incluidos cines, teatros, discotecas, salas de baile, etc.), cualquiera que sea su superficie; destinado a otro tipo de actividad, cuando su superficie construida exceda de 500 m²; debe constituir al menos un sector de incendio diferenciado, incluido el posible vestíbulo común a diferentes salas.⁽⁵⁾ |
| Residencial Público | <ul style="list-style-type: none"> - La superficie construida de cada sector de incendio no debe exceder de 2.500 m². - Toda habitación para alojamiento, así como todo oficio de planta cuya dimensión y uso previsto no obliguen a su clasificación como local de riesgo especial conforme a SI 1-2, debe tener paredes EI 60 y, en establecimientos cuya superficie construida exceda de 500 m², puertas de acceso EI₂ 30-C5. |
| Docente | <ul style="list-style-type: none"> - Si el edificio tiene más de una planta, la superficie construida de cada sector de incendio no debe exceder de 4.000 m². Cuando tenga una única planta, no es preciso que esté compartimentada en sectores de incendio. |
| Hospitalario | <ul style="list-style-type: none"> - Las plantas con zonas de hospitalización o con unidades especiales (quirófanos, UVI, etc.) deben estar compartimentadas al menos en dos sectores de incendio, cada uno de ellos con una superficie construida que no exceda de 1.500 m² y con espacio suficiente para albergar a los pacientes de uno de los sectores contiguos. Se exceptúa de lo anterior aquellas plantas cuya superficie construida no exceda de 1.500 m², que tengan salidas directas al espacio exterior seguro y cuyos recorridos de evacuación hasta ellas no excedan de 25 m. - En otras zonas del edificio, la superficie construida de cada sector de incendio no debe exceder de 2.500 m². |
| Pública Concurrencia | <ul style="list-style-type: none"> - La superficie construida de cada sector de incendio no debe exceder de 2.500 m², excepto en los casos contemplados en los guiones siguientes. - Los espacios destinados a público sentado en asientos fijos en cines, teatros, auditorios, salas para congresos, etc., así como los museos, los espacios para culto religioso y los recintos polideportivos, feriales y similares pueden constituir un sector de incendio de superficie construida mayor de 2.500 m² siempre que: <ol style="list-style-type: none"> estén compartimentados respecto de otras zonas mediante elementos EI 120; tengan resuelta la evacuación mediante salidas de planta que comuniquen con un sector de riesgo mínimo a través de vestíbulos de independencia, o bien mediante salidas de edificio; los materiales de revestimiento sean B-s1,d0 en paredes y techos y B_{FL}-s1 en suelos; la densidad de la carga de fuego debida a los materiales de revestimiento y al mobiliario fijo no exceda de 200 MJ/m² y |



| | |
|---------------------|--|
| | e) no exista sobre dichos espacios ninguna zona habitable. - Las cajas escénicas deben constituir un sector de incendio diferenciado. |
| Aparcamiento | Debe constituir un sector de incendio diferenciado cuando esté integrado en un edificio con otros usos. Cualquier comunicación con ellos se debe hacer a través de un <i>vestíbulo de independencia</i> . Los <i>aparcamientos robotizados</i> situados debajo de otro uso estarán compartimentados en sectores de incendio que no excedan de 10.000 m ³ . |

(¹) Por ejemplo, las zonas de dormitorios en establecimientos docentes o, en hospitales, para personal médico, enfermeras, etc.
(²) Cualquier superficie, cuando se trate de *aparcamientos robotizados*. Los aparcamientos convencionales que no excedan de 100 m² se consideran locales de riesgo especial bajo.
(³) Se recuerda que las zonas de uso industrial o de almacenamiento a las que se refiere el ámbito de aplicación del apartado Generalidades de este DB deben constituir uno o varios sectores de incendio diferenciados de las zonas de uso Comercial, en las condiciones que establece la reglamentación específica aplicable al uso industrial.
(⁴) Los elementos que separan entre sí diferentes establecimientos deben ser EI 60. Esta condición no es aplicable a los elementos que separan a los establecimientos de las zonas comunes de circulación del centro.
(⁵) Dichos establecimientos deberán cumplir además las condiciones de compartimentación que se establecen para el uso Pública Concurrencia.

En la tabla 1.2 se define los requisitos de resistencia al fuego de las paredes, techos y puertas que delimitan los sectores de incendio.

Tabla 1.2 Resistencia al fuego de las paredes, techos y puertas que delimitan sectores de incendio ⁽¹⁾⁽²⁾

| Elemento | Resistencia al fuego | | | |
|--|--|---|---------------|----------|
| | Plantas bajo rasante | Plantas sobre rasante en edificio con altura de evacuación: | | |
| | | h ≤ 15 m | 15 < h ≤ 28 m | h > 28 m |
| Paredes y techos ⁽³⁾ que separan al sector considerado del resto del edificio, siendo su uso previsto: ⁽⁴⁾ | | | | |
| - Sector de riesgo mínimo en edificio de cualquier uso | (no se admite) | EI 120 | EI 120 | EI 120 |
| - Residencial Vivienda, Residencial Público, Docente, Administrativo | EI 120 | EI 60 | EI 90 | EI 120 |
| - Comercial, Pública Concurrencia, Hospitalario | EI 120 ⁽⁵⁾ | EI 90 | EI 120 | EI 180 |
| - Aparcamiento ⁽⁶⁾ | EI 120 ⁽⁷⁾ | EI 120 | EI 120 | EI 120 |
| Puertas de paso entre sectores de incendio | EI ₂ t-C5 siendo t la mitad del tiempo de resistencia al fuego requerido a la pared en la que se encuentre, o bien la cuarta parte cuando el paso se realice a través de un <i>vestíbulo de independencia</i> y de dos puertas. | | | |

- (¹) Considerando la acción del fuego en el interior del sector, excepto en el caso de los sectores de riesgo mínimo, en los que únicamente es preciso considerarla desde el exterior del mismo.
Un elemento delimitador de un sector de incendios puede precisar una resistencia al fuego diferente al considerar la acción del fuego por la cara opuesta, según cual sea la función del elemento por dicha cara: compartimentar una zona de riesgo especial, una escalera protegida, etc.
- (²) Como alternativa puede adoptarse el tiempo equivalente de exposición al fuego, determinado conforme a lo establecido en el apartado 2 del Anejo SI B.
- (³) Cuando el techo separe de una planta superior debe tener al menos la misma resistencia al fuego que se exige a las paredes, pero con la característica REI en lugar de EI, al tratarse de un elemento portante y compartimentador de incendios. En cambio, cuando sea una cubierta no destinada a actividad alguna, ni prevista para ser utilizada en la evacuación, no precisa tener una función de compartimentación de incendios, por lo que sólo debe aportar la resistencia al fuego R que le corresponda como elemento estructural, excepto en las franjas a las que hace referencia el capítulo 2 de la Sección SI 2, en las que dicha resistencia debe ser REI.
- (⁴) La resistencia al fuego del suelo es función del uso al que está destinada la zona existente en la planta inferior. Véase apartado 3 de la Sección SI 6 de este DB.
- (⁵) El 180 si la altura de evacuación del edificio es mayor que 28 m.
- (⁶) Resistencia al fuego exigible a las paredes que separan al aparcamiento de zonas de otro uso. En relación con el forjado de separación, ver nota (3).
- (⁷) El 180 si es un aparcamiento robotizado.



En el apartado 2 del de la sección que aborda la propagación interior, se definen los locales y las zonas de riesgo especial. Se clasifican conforme los grados de riesgo alto, medio y bajo según los criterios que se establecen en la tabla 2.1 adjunta.

Tabla 2.1 Clasificación de los locales y zonas de riesgo especial integrados en edificios

| Uso previsto del edificio o establecimiento - Uso del local o zona | Tamaño del local o zona S = superficie construida V = volumen construido | | |
|--|--|--|----------------------------|
| | Riesgo bajo | Riesgo medio | Riesgo alto |
| En cualquier edificio o establecimiento: | | | |
| - Talleres de mantenimiento, almacenes de elementos combustibles (p. e.: mobiliario, lencería, limpieza, etc.) archivos de documentos, depósitos de libros, etc. | 100<V≤200 m ³ | 200<V≤400 m ³ | V>400 m ³ |
| - Almacén de residuos | 5<S≤15 m ² | 15<S≤30 m ² | S>30 m ² |
| - Aparcamiento de vehículos de una vivienda unifamiliar o cuya superficie S no exceda de 100 m ² | En todo caso | | |
| - Cocinas según potencia instalada P ⁽¹⁾⁽²⁾ | 20<P≤30 kW | 30<P≤50 kW | P>50 kW |
| - Lavanderías. Vestuarios de personal. Camerinos ⁽³⁾ | 20<S≤100 m ² | 100<S≤200 m ² | S>200 m ² |
| - Salas de calderas con potencia útil nominal P | 70<P≤200 kW | 200<P≤600 kW | P>600 kW |
| - Salas de máquinas de instalaciones de climatización (según Reglamento de Instalaciones Térmicas en los edificios, RITE, aprobado por RD 1027/2007, de 20 de julio, BOE 2007/08/29) | En todo caso | | |
| - Salas de maquinaria frigorífica: refrigerante amoníaco refrigerante halogenado | P≤400 kW S≤3 m ² | En todo caso P>400 kW S>3 m ² | |
| - Almacén de combustible sólido para calefacción | En todo caso | | |
| - Local de contadores de electricidad y de cuadros generales de distribución | En todo caso | | |
| - Centro de transformación | En todo caso | | |
| - aparatos con aislamiento dieléctrico seco o líquido con punto de inflamación mayor que 300°C | En todo caso | | |
| - aparatos con aislamiento dieléctrico con punto de inflamación que no exceda de 300°C y potencia instalada P: | P≤2 520 kVA P≤630 kVA | 2520<P≤4000 kVA 630<P≤1000 kVA | P>4 000 kVA P>1 000 kVA |
| - Sala de maquinaria de ascensores | En todo caso | | |
| - Sala de grupo electrógeno | En todo caso | | |
| Residencial Vivienda | | | |
| - Trasteros ⁽⁴⁾ | 50<S≤100 m ² | 100<S≤500 m ² | S>500 m ² |
| Hospitalario | | | |
| - Almacenes de productos farmacéuticos y clínicos | 100<V≤200 m ³ | 200<V≤400 m ³ | V>400 m ³ |
| - Esterilización y almacenes anejos | En todo caso | | |
| - Laboratorios clínicos | V≤350 m ³ | 350<V≤500 m ³ | V>500 m ³ |
| Administrativo | | | |
| - Imprenta, reprografía y locales anejos, tales como almacenes de papel o de publicaciones, encuadernado, etc. | 100<V≤200 m ³ | 200<V≤500 m ³ | V>500 m ³ |
| Residencial Público | | | |
| - Roperos y locales para la custodia de equipajes | S≤20 m ² | 20<S≤100 m ² | S>100 m ² |



Comercial

| - Almacenes en los que la <i>densidad de carga de fuego ponderada y corregida</i> (Q_s) aportada por los productos almacenados sea ⁽⁵⁾ | $425 < Q_s \leq 850$ MJ/m ² | $850 < Q_s \leq 3.400$ MJ/m ² | $Q_s > 3.400$ MJ/m ² |
|---|---|---|---|
| La superficie construida de los locales así clasificados no debe exceder de la siguiente: | | | |
| - en recintos no situados por debajo de la planta de salida del edificio | | | |
| con instalación automática de extinción | S < 2.000 m ² | S < 600 m ² | S < 25 m ² y altura de evacuación < 15 m |
| sin instalación automática de extinción | S < 1.000 m ² | S < 300 m ² | no se admite |
| - en recintos situados por debajo de la planta de salida del edificio | | | |
| con instalación automática de extinción | < 800 m ² | no se admite | no se admite |
| sin instalación automática de extinción | < 400 m ² | no se admite | no se admite |

Pública concurrencia

| | | |
|---|-----------------------------------|--------------------------|
| - Taller o almacén de decorados, de vestuario, etc. | $100 < V \leq 200$ m ³ | $V > 200$ m ³ |
|---|-----------------------------------|--------------------------|

⁽¹⁾ Para la determinación de la potencia instalada sólo se considerarán los aparatos directamente destinados a la preparación de alimentos y susceptibles de provocar ignición. Las freidoras y las sartenes basculantes se computarán a razón de 1 kW por cada litro de capacidad, independientemente de la potencia que tengan.

En usos distintos de *Hospitalario* y *Residencial Público* no se consideran locales de riesgo especial las cocinas cuyos aparatos estén protegidos con un sistema automático de extinción, aunque incluso en dicho caso les es de aplicación lo que se establece en la nota ⁽²⁾. En el capítulo 1 de la Sección SI4 de este DB, se establece que dicho sistema debe existir cuando la potencia instalada exceda de 50 kW.

⁽²⁾ Los sistemas de extracción de los humos de las cocinas que conforme a lo establecido en este DB SI deban clasificarse como local de riesgo especial deben cumplir además las siguientes condiciones especiales:

- Las campanas deben estar separadas al menos 50 cm de cualquier material que no sea A1.
- Los conductos deben ser independientes de toda otra extracción o ventilación y exclusivos para cada cocina. Deben disponer de registros para inspección y limpieza en los cambios de dirección con ángulos mayores que 30° y cada 3 m como máximo de tramo horizontal. Los conductos que discurran por el interior del edificio, así como los que discurran por fachadas a menos de 1,50 m de distancia de zonas de la misma que no sean al menos EI 30 o de balcones, terrazas o huecos practicables tendrán una clasificación EI 30.
- No deben existir compuertas cortafuego en el interior de este tipo de conductos, por lo que su paso a través de elementos de compartimentación de *sectores de incendio* se debe resolver de la forma que se indica en el apartado 3 de esta Sección.
- Los filtros deben estar separados de los focos de calor más de 1,20 m sin ser tipo parrilla o de gas, y más de 0,50 m si son de otros tipos. Deben ser fácilmente accesibles y desmontables para su limpieza, tener una inclinación mayor que 45° y poseer una bandeja de recogida de grasas que conduzca éstas hasta un recipiente cerrado cuya capacidad debe ser menor que 3 l.
- Los ventiladores cumplirán las especificaciones de la norma UNE-EN 12101-3: 2002 "Especificaciones para aireadores extractores de humos y calor mecánicos." y tendrán una clasificación $F_{400} 90$.

⁽³⁾ Las zonas de aseos no computan a efectos del cálculo de la superficie construida.

⁽⁴⁾ Incluye los que comunican con zonas de uso garaje de edificios de vivienda.

⁽⁵⁾ Las áreas públicas de venta no se clasifican como locales de riesgo especial. La determinación de Q_s puede hacerse conforme a lo establecido en el "Reglamento de seguridad contra incendios en establecimientos industriales". Se recuerda que, conforme al ámbito de aplicación de este DB, los almacenes cuya carga de fuego total exceda de 3×10^6 MJ se regulan por dicho Reglamento, aunque pertenezcan a un establecimiento de uso *Comercial*.

⁽⁴⁾ Considerando la acción del fuego en el interior del recinto.

La resistencia al fuego del suelo es función del uso al que esté destinada la zona existente en la planta inferior. Véase apartado 3 de la Sección SI 6 de este DB.

⁽⁵⁾ El recorrido por el interior de la zona de riesgo especial debe ser tenido en cuenta en el cómputo de la longitud de los recorridos de evacuación hasta las salidas de planta. Lo anterior no es aplicable al recorrido total desde un garaje de una vivienda unifamiliar hasta una salida de dicha vivienda, el cual no está limitado.

⁽⁶⁾ Podrá aumentarse un 25% cuando la zona esté protegida con una Instalación automática de extinción.

Hay que destacar que los locales destinados a albergar instalaciones y equipos regulados por reglamentos específicos, tales como transformadores, maquinaria de aparatos elevadores, calderas, depósitos de combustible, contadores de gas o electricidad, etc. se rigen, además, por las condiciones que se establecen en dichos reglamentos. Las condiciones de ventilación de los locales y de los equipos exigidas por dicha reglamentación deberán solucionarse de forma compatible con las de compartimentación establecidas en el DB. Sin embargo, no se incluyen los equipos situados en las cubiertas de los edificios, aunque estén protegidos mediante elementos de cobertura.



Como ya hemos mencionado anteriormente, otro de los apartados del CTE DB SI que indica requisitos de resistencia al fuego es la sección 6.

Hay que tener presente que la elevación de la temperatura que se produce como consecuencia de un incendio en un edificio afecta a su estructura de dos formas diferentes. Por un lado, los materiales ven afectadas sus propiedades, modificándose de forma importante su capacidad mecánica. Por otro, aparecen acciones indirectas como consecuencia de las deformaciones de los elementos, que generalmente dan lugar a tensiones que se suman a las debidas a otras acciones.

En el DB SI se indican únicamente métodos simplificados de cálculo suficientemente aproximados para la mayoría de las situaciones habituales (anejos B a F). Dichos métodos sólo recogen el estudio de la resistencia al fuego de los elementos estructurales individuales ante la curva normalizada tiempo temperatura. Sin embargo, pueden adoptarse otros modelos de incendio para representar la evolución de la temperatura durante el incendio, tales como las denominadas curvas paramétricas o, para efectos locales los modelos de incendio de una o dos zonas o de fuegos localizados o métodos basados en dinámica de fluidos (CFD, según siglas inglesas) contemplados en la norma **UNE-EN 1991-1-2:2004**. En dicha norma se recogen, asimismo, también otras curvas nominales para fuego exterior o para incendios producidos por combustibles de gran poder calorífico, como hidrocarburos, y métodos para el estudio de los elementos externos situados fuera de la envolvente del sector de incendio y a los que el fuego afecta a través de las aberturas en fachada. Así mismo, en las normas UNE-EN 1992-1-2:1996, UNE-EN 1993-1-2:1996, UNE-EN 1994-1-2:1996, UNE-EN 1995-1-2:1996, se incluyen modelos de resistencia para los materiales.

En el segundo subapartado de la sección 6, se admite que un elemento tiene suficiente resistencia al fuego si, durante la duración del incendio, el valor de cálculo del efecto de las acciones, en todo instante "t", no supera el valor de la resistencia de dicho elemento. En general, basta con hacer la comprobación en el instante de mayor temperatura que, con el modelo de curva normalizada tiempo-temperatura, se produce al final del mismo.

En el caso de sectores de riesgo mínimo y en aquellos sectores de incendio en los que, por su tamaño y por la distribución de la carga de fuego, no sea previsible la existencia de fuegos totalmente desarrollados, la comprobación de la resistencia al fuego puede hacerse elemento a elemento mediante el estudio por medio de fuegos localizados, según se indica en el Eurocódigo 1 (UNE-EN 1991-1-2: 2004) situando sucesivamente la carga de fuego en la posición previsible más desfavorable. Un aspecto muy importante a tener en cuenta es que el CTE DB SI no considera la capacidad portante de la estructura tras el incendio.

En el subapartado 3 de la sección 6 de resistencia al fuego se indican los **requisitos de resistencia al fuego** suficiente de los elementos estructurales principales. En términos generales, se considera que la resistencia al fuego de un elemento estructural principal del edificio (incluidos forjados, vigas y soportes), es suficiente si:

a) alcanza la clase indicada en la tabla 3.1 o 3.2 que representa el tiempo en minutos de resistencia ante la acción representada por la curva normalizada tiempo temperatura, o

b) soporta dicha acción durante el tiempo equivalente de exposición al fuego indicado en el anejo B.



Tabla 3.1 Resistencia al fuego suficiente de los elementos estructurales

| Uso del sector de incendio considerado ⁽¹⁾ | Plantas de sótano | Plantas sobre rasante altura de evacuación del edificio | | |
|--|----------------------|---|-------|-------|
| | | ≤15 m | ≤28 m | >28 m |
| Vivienda unifamiliar ⁽²⁾ | R 30 | R 30 | - | - |
| Residencial Vivienda, Residencial Público, Docente, Administrativo | R 120 | R 60 | R 90 | R 120 |
| Comercial, Pública Concurrencia, Hospitalario | R 120 ⁽³⁾ | R 90 | R 120 | R 180 |
| Aparcamiento (edificio de uso exclusivo o situado sobre otro uso) | | R 90 | | |
| Aparcamiento (situado bajo un uso distinto) | | R 120 ⁽⁴⁾ | | |

⁽¹⁾ La resistencia al fuego suficiente R de los elementos estructurales de un suelo que separa sectores de incendio es función del uso del sector inferior. Los elementos estructurales de suelos que no delimitan un sector de incendios, sino que están contenidos en él, deben tener al menos la resistencia al fuego suficiente R que se exija para el uso de dicho sector

⁽²⁾ En viviendas unifamiliares agrupadas o adosadas, los elementos que formen parte de la estructura común tendrán la resistencia al fuego exigible a edificios de uso Residencial Vivienda.

⁽³⁾ R 180 si la altura de evacuación del edificio excede de 28 m.

⁽⁴⁾ R 180 cuando se trate de aparcamientos robotizados.

Tabla 3.2 Resistencia al fuego suficiente de los elementos estructurales de zonas de riesgo especial integradas en los edificios ⁽¹⁾

| | |
|-----------------------|-------|
| Riesgo especial bajo | R 90 |
| Riesgo especial medio | R 120 |
| Riesgo especial alto | R 180 |

⁽¹⁾ No será inferior al de la estructura portante de la planta del edificio excepto cuando la zona se encuentre bajo una cubierta no prevista para evacuación y cuyo fallo no suponga riesgo para la estabilidad de otras plantas ni para la compartimentación contra incendios, en cuyo caso puede ser R 30.

La resistencia al fuego suficiente R de los elementos estructurales de un suelo de una zona de riesgo especial es función del uso del espacio existente bajo dicho suelo.

Consideraciones adicionales

La estructura principal de las cubiertas ligeras no previstas para ser utilizadas en la evacuación de los ocupantes y cuya altura respecto de la rasante exterior no exceda de 28 m, así como los elementos que únicamente sustenten dichas cubiertas, podrán ser R 30 cuando su fallo no pueda ocasionar daños graves a los edificios o establecimientos próximos, ni comprometer la estabilidad de otras plantas inferiores o la compartimentación de los sectores de incendio. A tales efectos, puede entenderse como ligera aquella cubierta cuya carga permanente debida únicamente a su cerramiento no exceda de 1 kN/m².

Los elementos estructurales de una escalera protegida o de un pasillo protegido que estén contenidos en el recinto de éstos, serán como mínimo R-30. Cuando se trate de escaleras especialmente protegidas no se exige resistencia al fuego a los elementos estructurales.

Para los elementos estructurales secundarios, cuyo colapso ante la acción directa del incendio no pueda ocasionar daños a los ocupantes, ni comprometer la estabilidad global de la estructura, la evacuación o la compartimentación en sectores de incendio del edificio, como puede ser el caso de pequeñas entreplantas o de suelos o escaleras de construcción ligera, etc., no precisan cumplir ninguna exigencia de resistencia al fuego. No obstante, todo suelo que, teniendo en cuenta lo anterior, deba garantizar la resistencia al fuego R que se establece en la tabla 3.1 del apartado anterior, debe ser accesible al menos por una escalera que garantice esa misma resistencia o que sea protegida.

Las estructuras sustentantes de cerramientos formados por elementos textiles, tales como carpas, serán R 30, excepto cuando, además de ser clase M2 conforme a UNE 23727:1990 según se establece en el Capítulo 4 de la Sección 1 de este DB, el certificado de ensayo acredite la perforación del elemento, en cuyo caso no precisan cumplir ninguna exigencia de resistencia al fuego.

1.5. Generación de hipótesis

Teniendo en cuenta la relevancia de las distintas informaciones, se establecen las siguientes hipótesis:

1. Aquellos materiales que hayan obtenido una mejor clasificación en los ensayos de **reacción al fuego** según Euroclases EN 13501-1, deberán ser aquellos que tengan mayor probabilidad de contar con un mejor comportamiento en los ensayos de resistencia al fuego.
2. Los materiales que posean una **conductividad térmica menor** deberían arrojar mejores prestaciones que aquellos materiales que sean buenos conductores del calor.
3. Materiales con un **mayor espesor** y una **mayor densidad**, deberían ofrecer mejores resultados de resistencia al fuego, ya que deben ofrecer una mayor capacidad portante.

Durante la modelización habrá que fijarse especialmente en los siguientes parámetros, pues son los que permiten el cumplimiento de requisitos de resistencia (R), integridad (E) y aislamiento (I):

- a) Capacidad de soportar la carga
- b) Velocidad de deformación
- c) Causar la **ignición del tampón de algodón** en contacto con cara no expuesta.
- d) **Presencia de grietas y aberturas**
- e) **Ignición** de la cara no expuesta
- f) Cara no expuesta no debe superar los 140°C ó 180°C.

2 MODELIZACIÓN DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA AL FUEGO.

En este apartado del entregable se describe como se ha realizado la modelización a fin de poder realizar una correlación entre ensayos de reacción y resistencia al fuego.

2.1 Selección del software a emplear en la modelización de los ensayos.

Se realizó un estudio previo de los posibles programas que encajaban en el perfil del tipo de modelización que se quería llevar a cabo. Se buscaron programas que cumplieran las siguientes condiciones:

- Programas que se emplearan en modelización en el sector de las ingenierías, particularmente en construcción y estructuras.
- Software que pudiera aplicar carga de calor y poder elegir las superficies de aplicación, así como un posterior procesamiento de los resultados obtenidos, con el fin de poder simular en el programa el ensayo de resistencia al fuego de la norma EN 1364-1: *Ensayos de resistencia al fuego de elementos no portantes. Parte 1: Paredes.*
- Que se pudieran definir materiales a partir de datos físico-mecánicos para poder realizar el ensayo en diferentes probetas de distinta tipología.
- Que aplique el **método de los elementos finitos**: es un método numérico general para la aproximación de soluciones de ecuaciones diferenciales parciales muy complejas utilizado en diversos problemas de ingeniería y física. Está diseñado para la mejora de productos industriales, así como en la simulación de sistemas físicos y biológicos complejos.
- Programas que no tuvieran coste o de los que se pudiera disponer una versión de prueba durante un periodo de tiempo determinado.

A partir de las condiciones antes descritas, se sondearon una serie de programas que cumplían parcial o totalmente estas exigencias.

- **ATENA** (Cervenka Consulting): es un programa de simulación de elementos finitos que calcula las propiedades físicas del material a partir del Model Code 2010. Es un programa especialmente diseñado para estructuras de hormigón. Puede simular el comportamiento real del hormigón y simular el agrietamiento de la estructura y el rendimiento del refuerzo. Además, se pueden simular cargas (como se puede ver en la siguiente imagen) y realizar análisis térmicos por secciones del modelo.

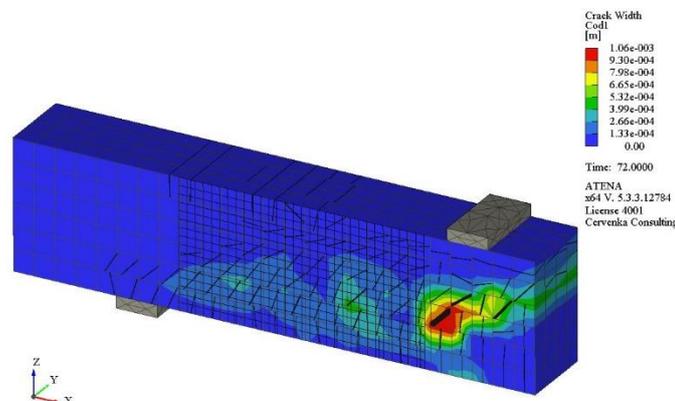


Figura 4. Ejemplo de modelización con el software Atena

- **Pyrosim-FDS** (Thunderhead Engineering): es una interfaz gráfica en la que se pueden generar modelos que pueden ser analizados posteriormente por FDS. Es un software más enfocado a evacuación de incendios, donde se pueden diseñar zonas ocupables, pasillos, escaleras... Hasta conformar un edificio entero. Se pueden crear zonas de generación de fuego para ver su propagación y la del humo a lo largo de los habitáculos. FDS (Fire Dynamics Simulator) es una herramienta desarrollada por el NIST (National Institute of Standards and Technology) para simular incendios bajo distintas condiciones (generar diseños particulares “diseño prescripcional”). La base teórica en la que se apoya es un cálculo exhaustivo mediante CFS (Computational Fluids Dynamics), optimizada para velocidades bajas y fluidos conducidos por diferencias de temperaturas.

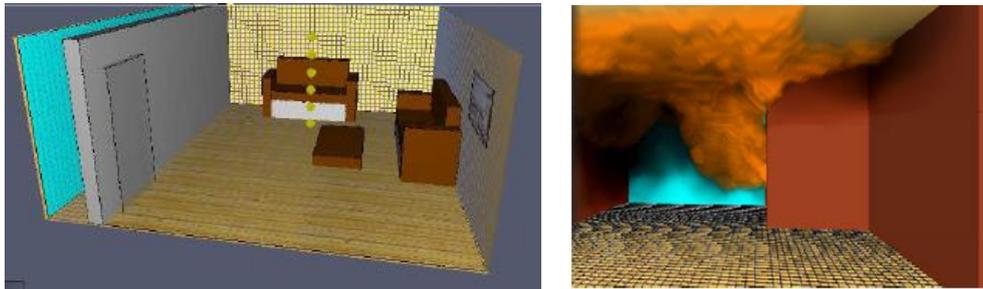


Figura 5. Ejemplo de una habitación (izquierda) y propagación de un incendio (derecha) con el programa Pyrosim-FDS

- **Abaqus 6.13 Student Edition** (Dassault Systèmes): es un programa de simulación que aplica el método de los elementos finitos para realizar cálculos estructurales estáticos lineales y no lineales, dinámicos incluyendo simulación de impactos, problemas de contacto de sólidos y mecánica de fluidos, donde se puede aplicar una carga de calor y poder analizar su difusión a lo largo del material. Tiene distintos productos dentro del software, entre los que se encuentra Abaqus/CAE. Es una herramienta completa de modelización, visualización y automatización de procesos. Se puede crear, monitorizar, diagnosticar y visualizar de forma rápida y eficiente los modelos de Abaqus.

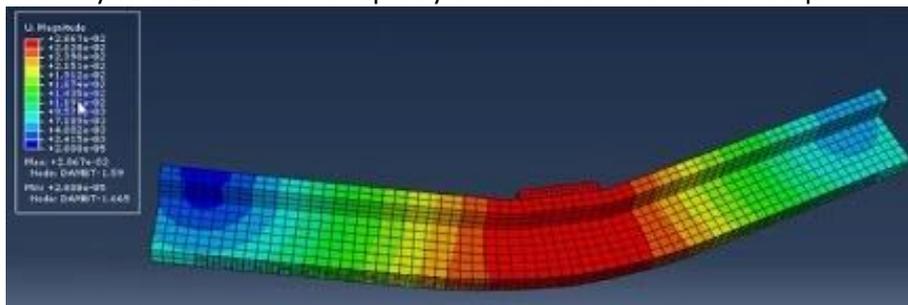


Figura 6. Modelo de viga sobre la que se ha aplicado una carga en el centro, mediante Abaqus

- **ALGOR** (Autodesk): es un programa para aplicaciones de ingeniería orientada a análisis computacional en diferentes ramas como automoción, aeroespacial, manufactura, consumo... Sus usos típicos incluyen flexión, contacto mecánico, térmico (conducción, convección, radiación), dinámica de fluidos y multifísica acoplada y no acoplada. Su principal desventaja es que no existe una versión gratuita para poder realizar la simulación prevista.

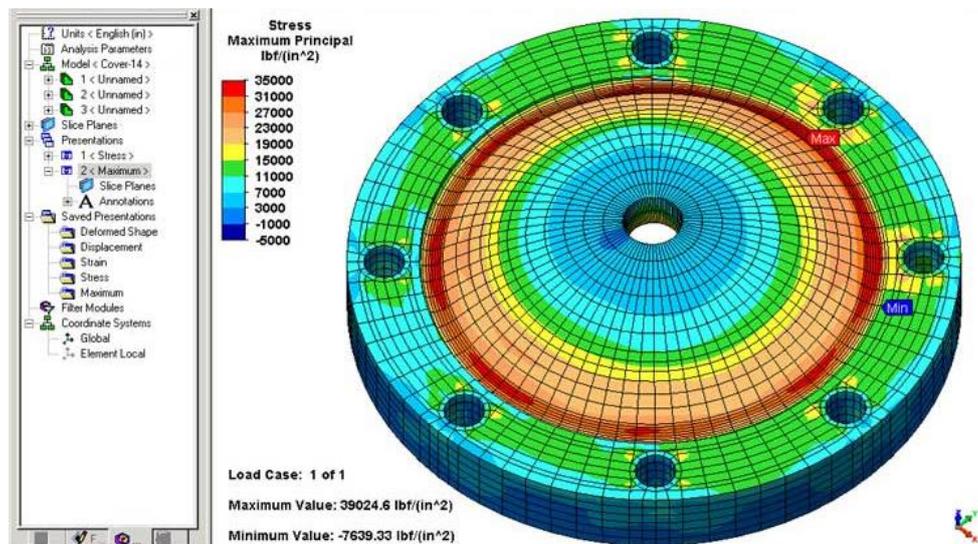


Figura 7. Diseño de la tapa de un compresor sometido a distintas fuerzas mediante ALGOR

- **EFsteel:** Es un software que se puede obtener en la página oficial de ASCEM (Asociación para la Construcción de estructuras metálicas) que nos proporciona la respuesta de un perfil metálico bajo la carga de un incendio. En este caso la carga no se introduce en el programa como una curva de fuego (en el Abaqus se puede introducir directamente el perfil de temperaturas de la ISO 834), sino que se basa en la conversión de las cargas actuantes a temperatura ambiente en las cargas en situación accidental de incendio. La forma de proceder para esta equivalencia está recogida en la normativa como el Eurocódigo 1: Acciones en estructuras. Parte 1.2: Acciones en estructuras expuestas al fuego, y el CTE: DB SI.



Figura 8. Ejemplo de perfil de temperaturas en una viga sometida a una carga de calor con el programa EFsteel.

3 REALIZACIÓN DE LA MODELIZACIÓN.

Tras una valoración de los programas citados anteriormente, se ha decidido utilizar dentro del software **Abaqus 6.13 Student Edition**, su herramienta intuitiva Abaqus/CAE. Está destinado a resolver problemas de ingeniería mediante el método de los elementos finitos. En nuestro caso, nos va a proporcionar la simulación del comportamiento de distintos materiales frente a una carga de calor aplicada sobre una de las caras a fin de ensayar según norma EN 1364-1:



Ensayos de resistencia al fuego de elementos no portantes. Parte 1: Paredes, para poder corroborar las hipótesis planteadas.

3.1 Procedimiento para realizar la modelización de los ensayos de resistencia al fuego.

El software Abaqus es un programa dividido en módulos a fin de poder realizar cada una de las partes necesarias para crear un diseño en una ventana a parte. Así, nos moveremos en los siguientes módulos:

- **Parts:** Es el módulo donde se encuentran las herramientas para construir un modelo en Abaqus. Se utiliza para crear cada parte y ensamblarlas posteriormente para crear la probeta.
- **Property:** En este módulo se especifican las propiedades de los materiales empleados, tales como densidad, conductividad térmica, calor específico ...
- **Assembly:** Se emplea para colocar los ejes de coordenadas y, en diseños con juntas, poder definirlos.
- **Step:** Esta sección se emplea para crear los pasos del análisis, considerando el tiempo total de cada paso, los intervalos, el tiempo entre intervalos...
- **Interaction:** Con este módulo se controla la región y direccionalidad donde se aplica la carga de calor en el modelo, además de poder realizar un análisis de restricciones entre regiones.
- **Load:** Se utiliza para definir y administrar la carga de calor y las condiciones de contorno que se aplican en el modelo.
- **Mesh:** Permite generar la malla en el modelo deseado según su forma y tipo de carga que se aplica. Además, este módulo contiene funciones que verifican la idoneidad de la malla existente.
- **Job:** Se emplea para crear y administrar los trabajos de análisis. También permite análisis de adaptabilidad y coejecuciones.
- **Visualization:** Este módulo permite ver los resultados obtenidos a partir del módulo Job, como es la transferencia de calor a lo largo del modelo y los valores de temperatura que se alcanzan en distintos puntos o áreas del modelo. Se puede realizar un tratamiento de los resultados representando y combinando gráficas, además de poder realizar cálculos como medias o aplicarle funciones a los resultados obtenidos.

Para realizar una modelización con el programa Abaqus, se debe comenzar dibujando la probeta con las medidas que se especifican en la norma EN 1364-1. Para ello nos debemos colocar en el módulo "Parts":

Elegimos **Module/Parts** y ponemos las siguientes propiedades:

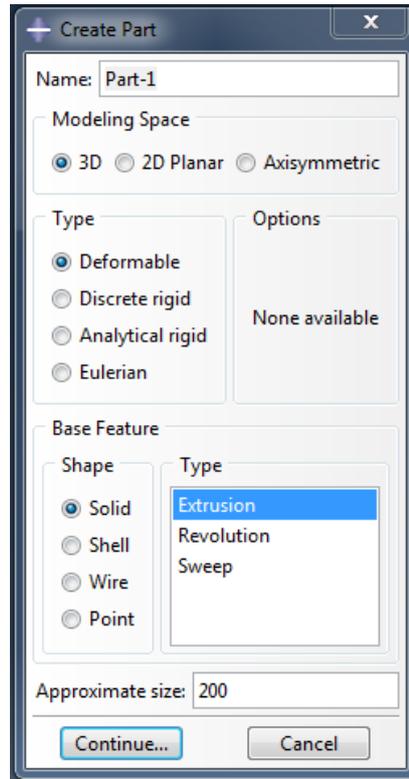


Ilustración 9. Ventana de opciones en “Create Part”.

A continuación, dibujamos la probeta desde el origen de coordenadas y utilizando las dimensiones que especifica la norma: 3 x 3 m. Para ello, vamos introduciendo cada uno de los vértices del cuadrado en la siguiente barra: (0,0); (3,3); (3,0); (0,3)

De esa forma nos quedará la figura tal que así:

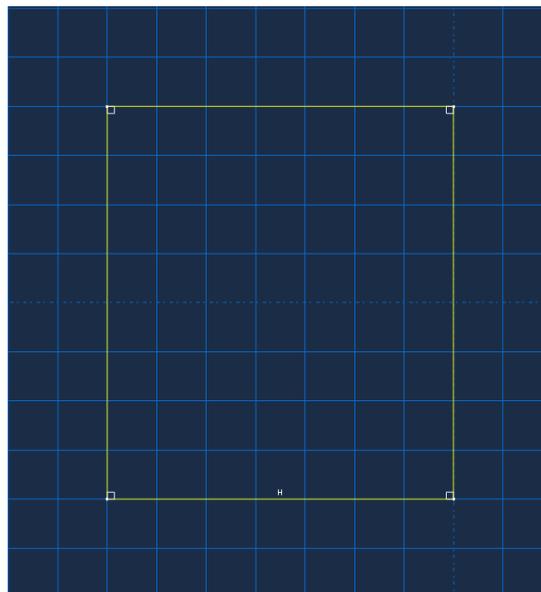


Figura 10. Diseño 2D de la probeta.

Una vez lo tenemos dibujado, aceptamos (Done) y se nos abre la siguiente ventana para darle profundidad a la probeta. En el caso del problema que queremos simular, el espesor de la probeta será de 19 mm (0.019 m). Este valor lo introduciremos en la casilla "Depth":

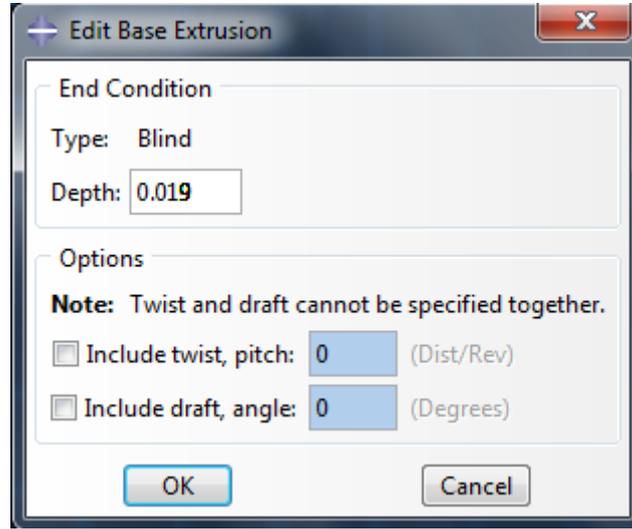


Figura 11. Especificación del espesor de la probeta.

De esta forma obtenemos la forma de la probeta, definida únicamente por las medidas:

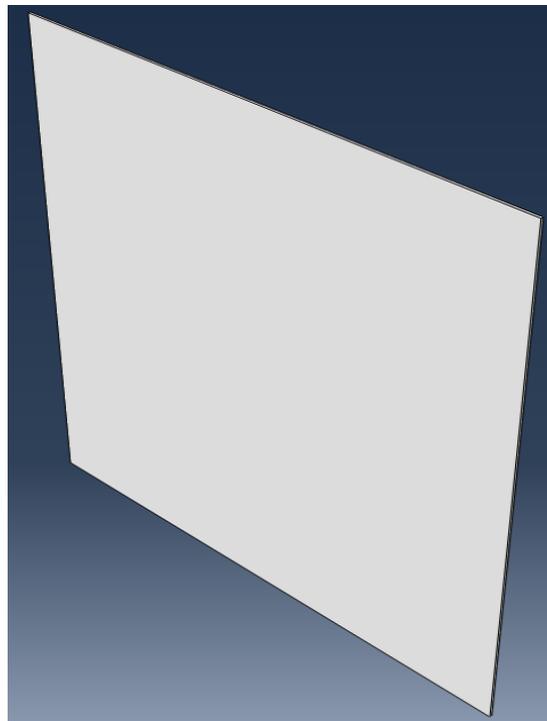


Figura 12. Diseño final del modelo de probeta.

A partir de aquí, debemos comenzar a definir el material según sus propiedades físicas para que el programa adecue la modelización a las propiedades intrínsecas del material. Cambiamos a **Module/ Property**.

En Material Manager creamos un nuevo material e introducimos en él cada una de las propiedades que siguen:

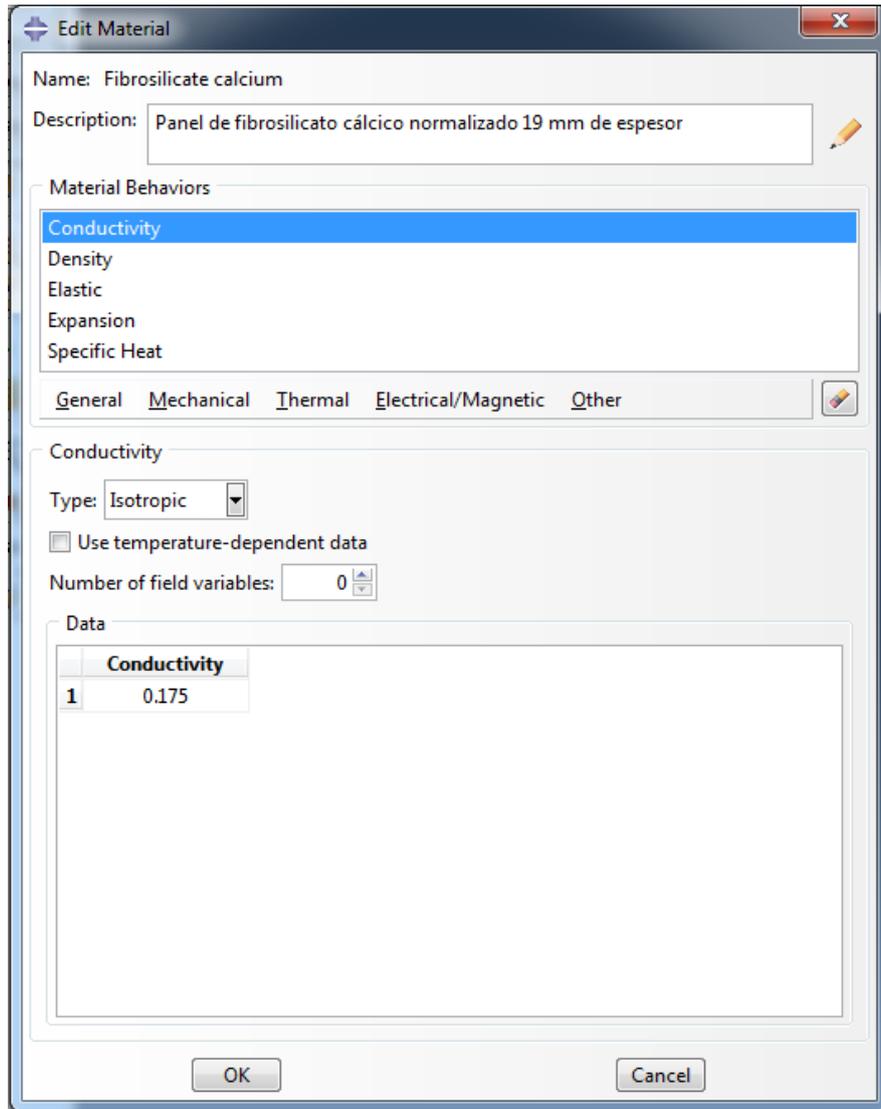


Figura 13. Introducción de los valores de cada una de las propiedades físico-mecánicas de los materiales.

Para cada una de las propiedades accedemos por la ruta especificada a continuación:

Densidad: General / Density (en kg / m^3).

Conductividad térmica: Thermal / Conductivity (en $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$).

Calor específico: Thermal / Specific heat (en $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$).

Módulo de Young: Mechanical / Elasticity / Elastic / Young's modulus (en N / m^2).

Coefficiente de Poisson: Mechanical / Elasticity / Elastic / Poisson's ratio (adimensional).

Coefficiente de expansión térmica: Mechanical / Expansion (en K^{-1}).

Tabla 4. Propiedades físicas de los materiales estudiados en la modelización.

| | Fibrosilicato cálcico | Tablero contrachapado | Plancha poliestireno |
|--|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| Densidad | 870 | 560 | 18 |
| Conductividad térmica | 0.175 | 0.102 | 0.038 |
| Calor específico | 840 | 3965 | 1400 |
| Módulo de Young | $2,9 \cdot 10^9$ | $1.3 \cdot 10^{10}$ | $3.2 \cdot 10^9$ |
| Coefficiente de Poisson | 0,3 | 0.26 | 0.34 |
| Coefficiente de expansión térmica | $2,23 \cdot 10^{-5}$ | 0.15 | 0.036 |

Una vez introducidas cada una de las propiedades, debemos definir las secciones de material que componen nuestra probeta. Para ello nos posicionamos en Section Manager y creamos una única sección que defina a toda nuestra probeta, ya que el modelo que utilizamos está compuesto únicamente por un material.

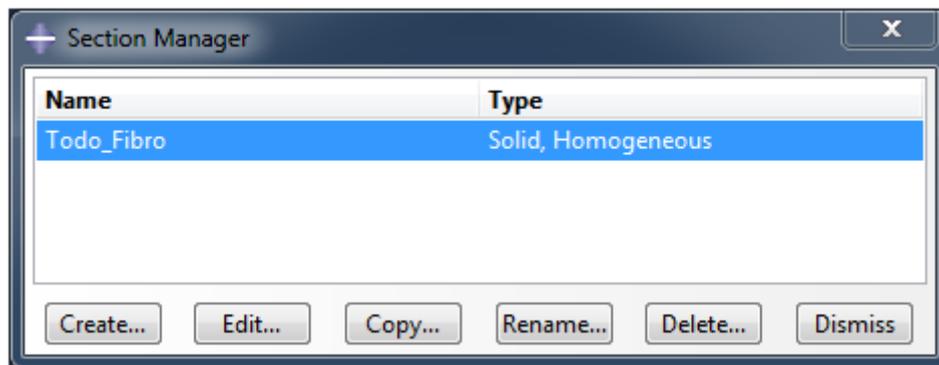


Figura 14. Creación de la sección de la probeta.

Una vez creada tenemos que definirla según su categoría: Solid / Homogeneous.

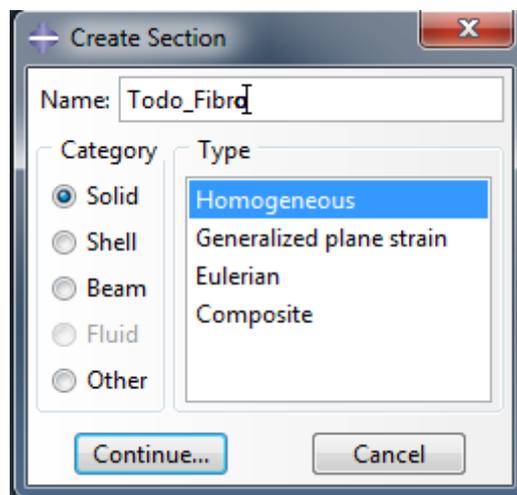


Figura 15. Definición del tipo de sección.

A continuación le definimos el material del que está compuesto en toda su extensión, un material que como hemos visto antes hemos tenido que crear y añadirle sus propiedades físicas.

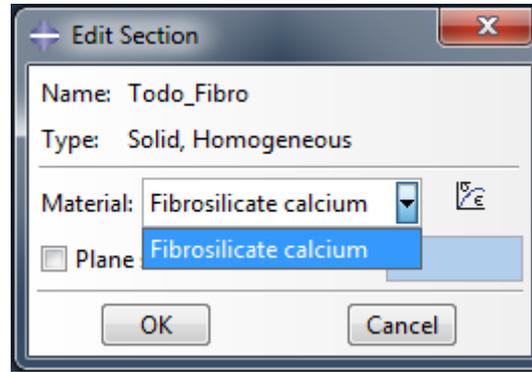


Figura 16. Definición de la sección según el material que la conforma.

Ahora debemos de asociar esa sección con el modelo que hemos dibujado. Para ello, nos posicionamos en Section Assignment Manager y seleccionamos toda la probeta, que va a estar formada por el mismo material.

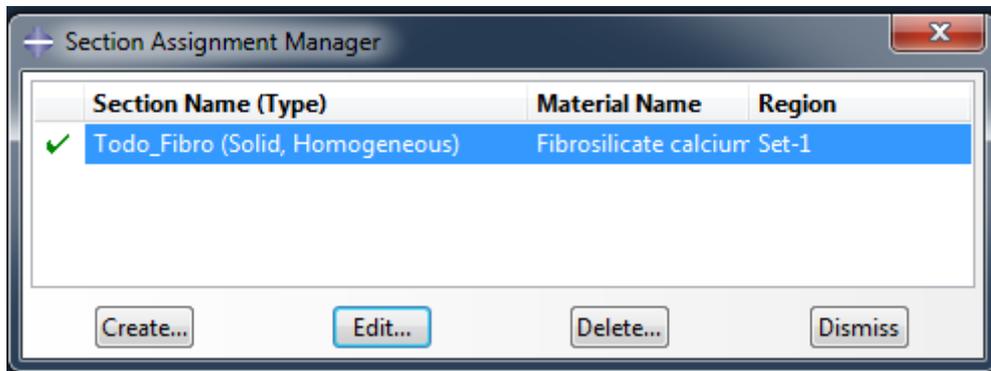


Figura 17. Definición de la sección creada según la parte del modelo seleccionada.

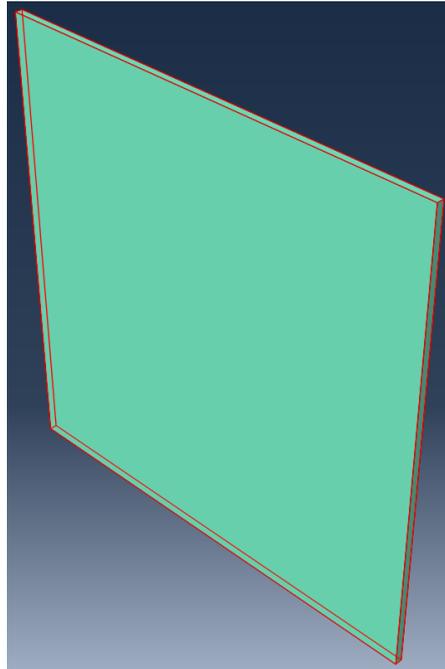


Figura 18. Parte del modelo seleccionado.

Después, debemos fijar un origen de coordenadas, que nos permitirá tener una referencia de cada uno de los puntos que conforman el modelo tridimensional. Para ello, nos colocamos en **Module / Assembly** y escogemos la opción “Create Instance”.

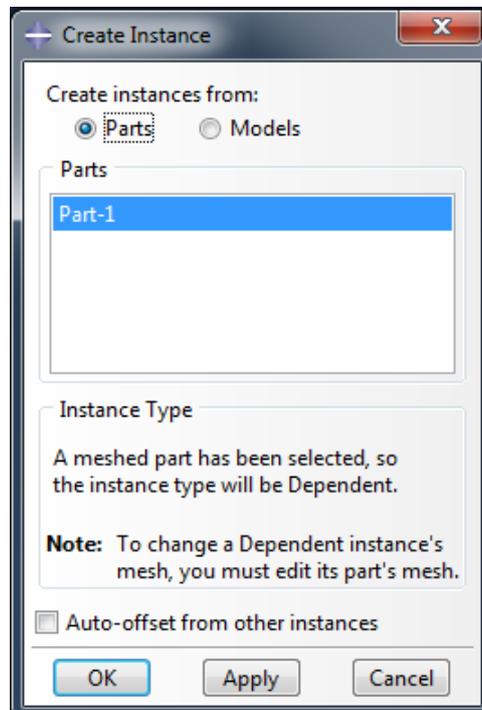


Figura 19. Creación del origen de coordenadas.

Al darle OK, el programa nos crea directamente un origen de coordenadas:

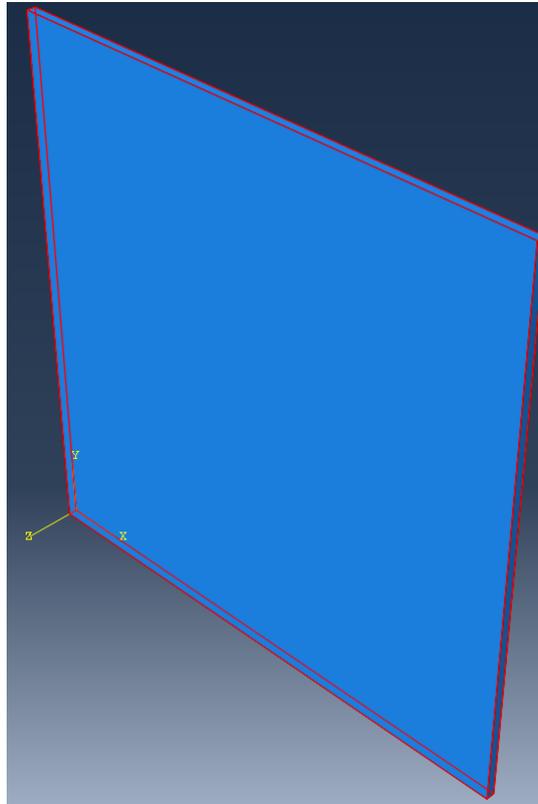


Figura 20. Posición del origen de coordenadas.

Ahora, se han de configurar los pasos necesarios para el ensayo de la probeta. Abrimos **Module / Step** y escogemos la opción “Step Manager”. Abaqus por defecto proporciona el paso inicial, que lo llama “Initial” y no deja cambiarlo ni eliminarlo. A partir de ahí nosotros debemos crear el paso de transferencia de calor a la probeta, que es en lo que consta el ensayo de la norma EN 1364-1. Le llamaremos “Heat Transfer”.

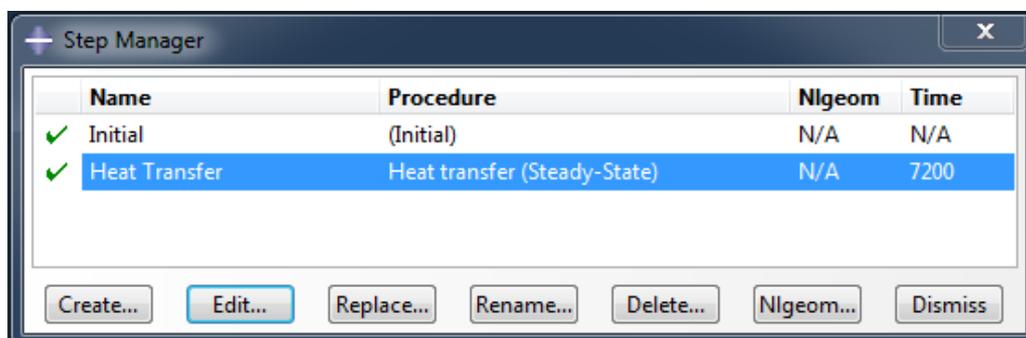


Figura 21. Creación de los pasos y el tipo de carga en cada paso.

A continuación se nos abrirá una ventana llamada “Edit Step” con 3 pestañas que debemos ir rellenando como sigue:

 Steady-state Transient', 'Time period: 7200', and 'Nlgeom: Off' with an edit icon. At the bottom are 'OK' and 'Cancel' buttons." data-bbox="205 165 782 566"/>

Figura 22. Introducción del tiempo total del paso de carga de calor.

El periodo del paso “Heat Transfer” (que es el que compone básicamente el ensayo, ya que el paso “Initial” no influye ni tiene asociado tiempo). Al periodo “Heat Transfer” le asignaremos 7200 segundos que corresponde a 2 horas de ensayo, tiempo suficiente para poder ver el comportamiento de la probeta y si hay o no criterio de fallo. La respuesta la pondremos como estado estacionario (Steady-state), por haber otros estudios donde se recomienda esta opción.

(5)

En la pestaña “Incrementation” indicaremos los siguientes valores de los parámetros:

Figure 23 shows the 'Edit Step' dialog box with the 'Incrementation' tab selected. The 'Name' is 'Heat Transfer' and the 'Type' is 'Heat transfer'. Under the 'Type' section, the 'Automatic' radio button is selected. The 'Maximum number of increments' is set to 100. The 'Increment size' section has three input fields: 'Initial' (7200), 'Minimum' (0.072), and 'Maximum' (7200). There are also fields for 'End step when temperature change is less than:', 'Max. allowable temperature change per increment:', and 'Max. allowable emissivity change per increment' (0.1). The 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom.

Figura 23. Introducción del número de pasos y el incremento por paso.

Por último, en la pestaña “Other” se dejan puestas las siguientes selecciones:

Figure 24 shows the 'Edit Step' dialog box with the 'Other' tab selected. The 'Name' is 'Heat Transfer' and the 'Type' is 'Heat transfer'. Under the 'Equation Solver' section, the 'Method' is 'Direct' and 'Matrix storage' is 'Use solver default'. Under the 'Solution Technique' section, the 'Solution technique' is 'Full Newton' and the 'Number of iterations allowed before the kernel matrix is reformed' is 8. The 'Convert severe discontinuity iterations' is set to 'Propagate from previous step'. Under the 'Default load variation with time' section, the 'Ramp linearly over step' radio button is selected. The 'Extrapolation of previous state at start of each increment' is set to 'Linear'. The 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom.

Figura 24. Especificación del tipo de cálculo en el paso.

Una vez tenemos definidos los pasos, hemos de definir la superficie donde se aplica el calor. Para ello, nos posicionamos en **Module / Interaction** y abrimos la ventana de Interaction Manager.

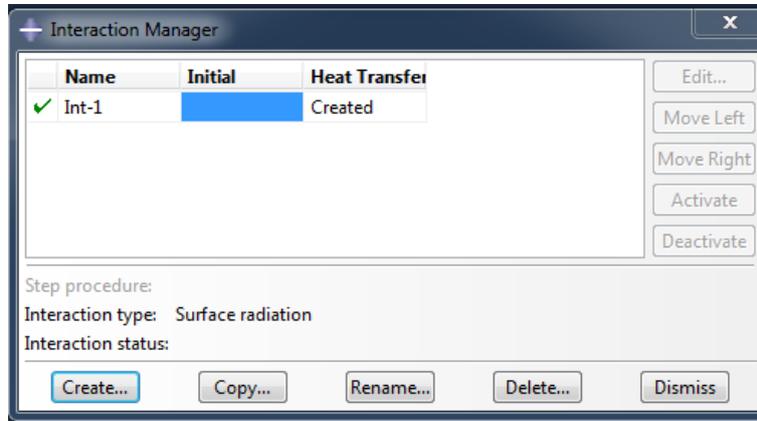


Figura 25. Creación de interacción con la probeta.

Al crear la interacción, debemos definir en qué paso se aplica (Heat Transfer) y que tipo de interacción se trata (Surface radiation).

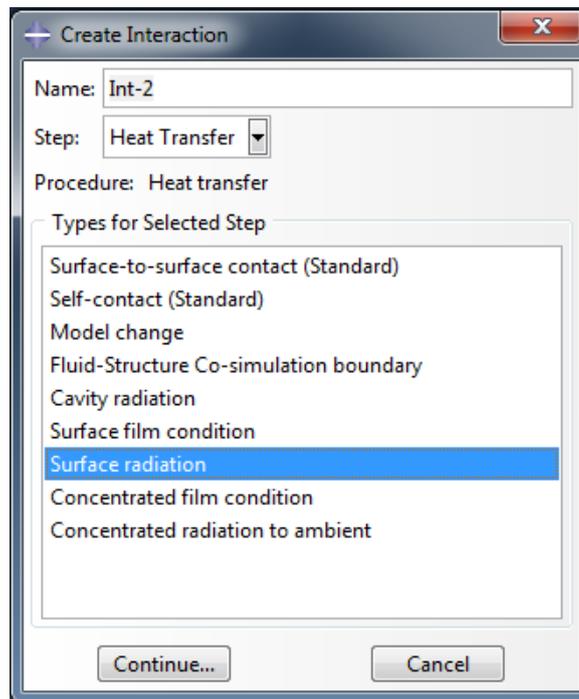


Figura 26. Tipo de interacción.

Seguidamente, se nos abre la ventana “Edit interaction”, donde debemos introducir la emisividad del material, la temperatura ambiente a la que está expuesta la probeta.

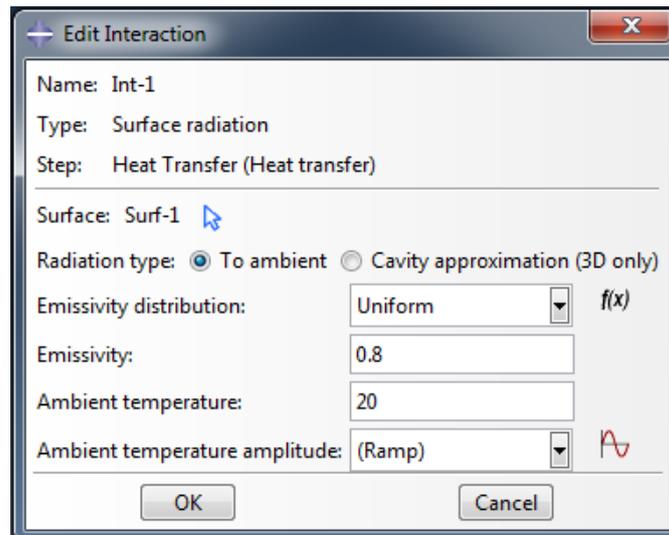


Figura 27. Introducción de parámetros de la interacción.

Por último, definir la curva de temperatura a partir de una tabla de amplitud. Se crea haciendo click en el símbolo de gráfica de la figura anterior. La fórmula para obtener cada valor es la siguiente:

-Curva de temperatura de ISO 834:

$$T = 20 + 345 \cdot \log(8 \cdot t + 1) \quad ; \quad \text{con } t \text{ en min.}$$

A partir de los valores obtenidos cada 180 segundos de T, se divide por la temperatura final de la curva al cabo de 2 h (7200 s), obteniéndose cada valor de amplitud que se introducirá en la tabla de datos que se visualiza a continuación.

$$\text{Amplitud} = \frac{T_{\text{instantánea}} (^{\circ}\text{C})}{T_{t=7200 \text{ s}} (^{\circ}\text{C})}$$

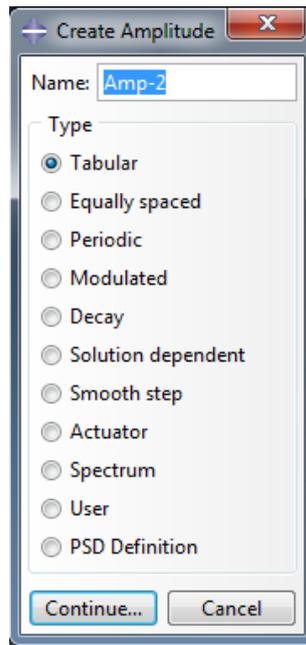


Figura 28. Tipo de amplitud a insertar para definir la curva de temperatura.

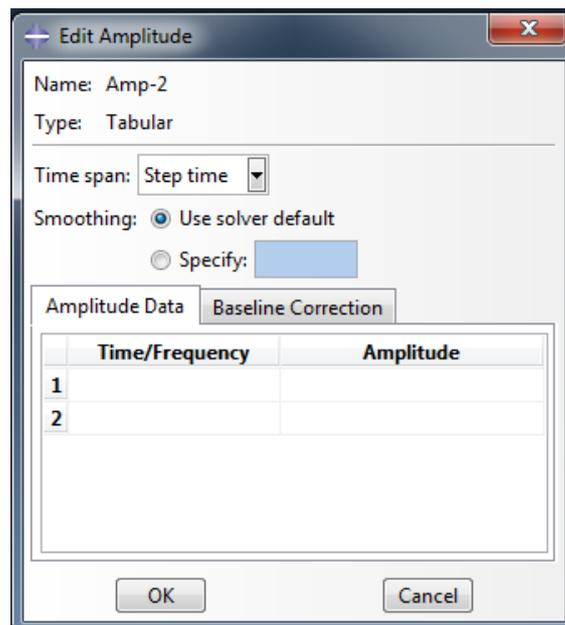


Figura 29. Definición de la amplitud de la curva de temperatura.

La curva de temperatura introducida corresponde a la gráfica expuesta a continuación:

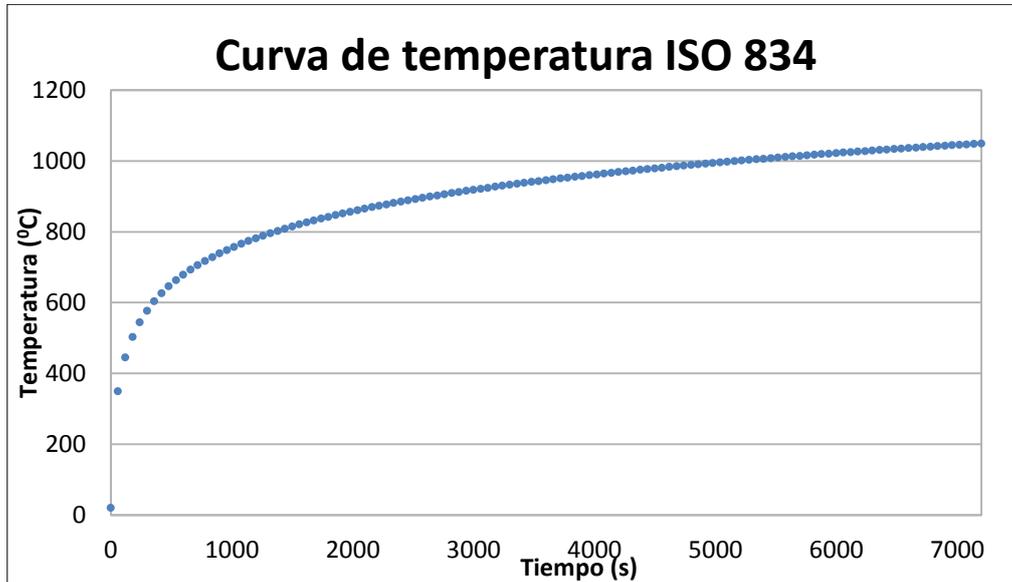


Figura 30. Curva de temperatura ISO 834.

Los valores introducidos en “Edit Amplitude”, calculados a partir de los resultados de la ISO 834 corresponden a los de la siguiente tabla:

Tabla 5. Valores de amplitud de la curva de temperatura ISO 834.

| Tiempo (s) | Amplitud | Tiempo (s) | Amplitud |
|------------|----------|------------|----------|
| 0 | 0,00 | 3600 | 3,43 |
| 180 | 0,17 | 3780 | 3,60 |
| 360 | 0,34 | 3960 | 3,77 |
| 540 | 0,51 | 4140 | 3,95 |
| 720 | 0,69 | 4320 | 4,12 |
| 900 | 0,86 | 4500 | 4,29 |
| 1080 | 1,03 | 4680 | 4,46 |
| 1260 | 1,20 | 4860 | 4,63 |
| 1440 | 1,37 | 5040 | 4,80 |
| 1620 | 1,54 | 5220 | 4,98 |
| 1800 | 1,72 | 5400 | 5,15 |
| 1980 | 1,89 | 5580 | 5,32 |
| 2160 | 2,06 | 5760 | 5,49 |
| 2340 | 2,23 | 5940 | 5,66 |
| 2520 | 2,40 | 6120 | 5,83 |
| 2700 | 2,57 | 6300 | 6,01 |
| 2880 | 2,75 | 6480 | 6,18 |
| 3060 | 2,92 | 6660 | 6,35 |
| 3240 | 3,09 | 6840 | 6,52 |
| 3420 | 3,26 | 7020 | 6,69 |
| | | 7200 | 6,86 |

Una vez introducidos los valores, recordar que hay que seleccionar la pestaña de “Ambient temperature amplitude” la opción de la amplitud que hemos creado (en nuestro caso se llama Amp – 2).

Una vez realizados todos estos pasos, debemos crear una malla en el modelo para que a la hora de hacer el cálculo el programa pueda tener más precisión en el modelo. En nuestro caso, al tener una forma de tablero con un espesor definido, la malla será cuadrada.

Para ello, nos posicionamos en **Module / Mesh** y en “Object” elegimos la opción “Part”.

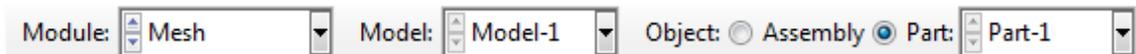


Figura 31. Selección de la opción “Part”.

De esta forma, tendremos elegido nuestro modelo para poder dibujar la malla sobre este. Una vez elegido, hacemos click en “Assign Mesh Controls”.

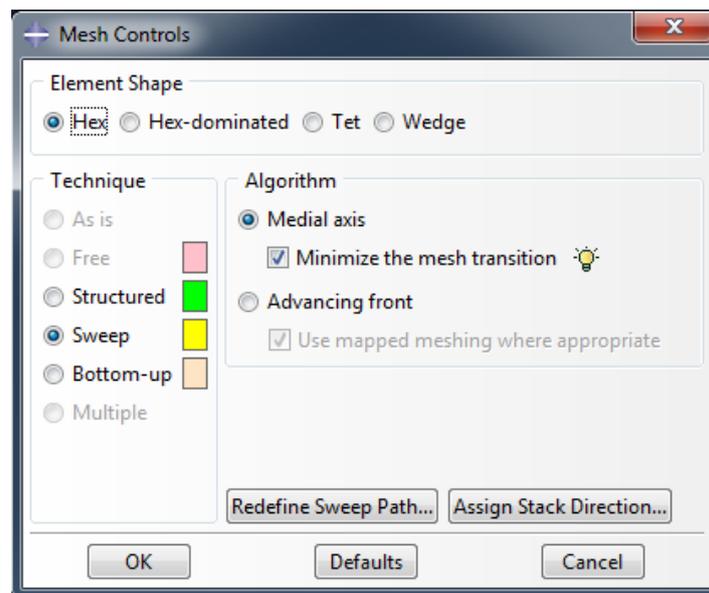


Figura 32. Selección de propiedades en el mallado.

Elegimos las opciones marcadas en la figura anterior y le damos a OK. A continuación elegimos “Assign Element Type”, seleccionamos toda la probeta y le damos a “Done”.

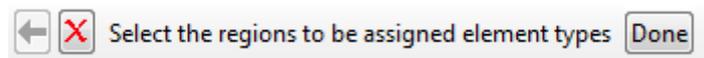


Figura 33. Confirmación de la selección de la probeta.

A continuación, se nos abre una ventana llamada “Element type”. En ella seleccionamos las casillas que se observan en la figura siguiente, con especial importancia en escoger “Heat Transfer” en el apartado “Family”. De esta manera, es posible poder tener el elemento finito de transferencia de calor DC3D8, que es un elemento cúbico de 8 nodos. Este elemento formará nuestra nueva malla.

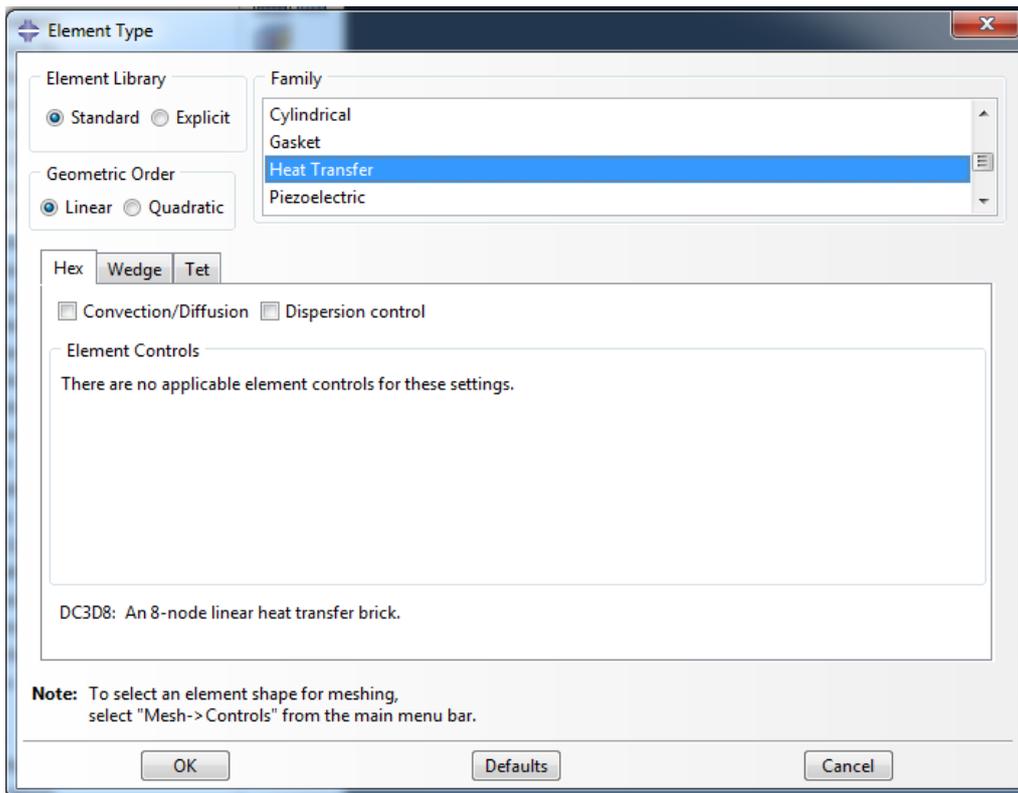


Figura 34. Selección del modelo de mallado.

Una vez acabado, le damos a OK. En la esquina inferior derecha, hacemos click derecho en "Sets".



Figura 35. Selección de la casilla "Sets".

Creamos una nueva selección que englobe a todos los nodos, llamada "Todos_Nodos", seleccionamos todo el modelo y le damos a "Done".

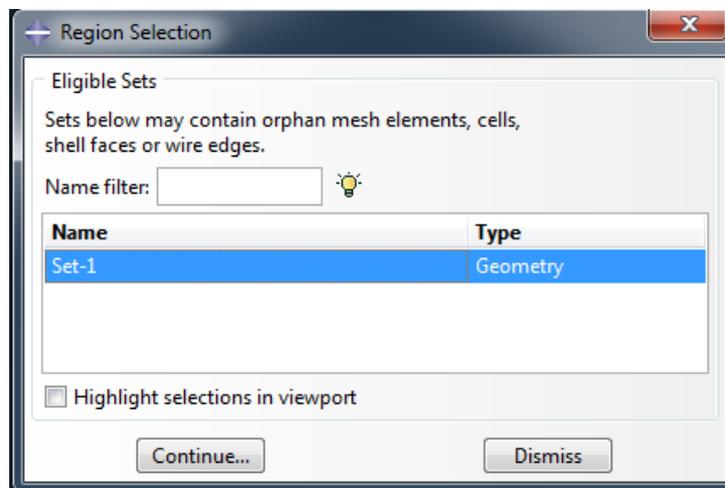


Figura 36. Creación de nueva selección que englobe a toda la probeta para definir los nodos.

De esta forma, el modelo quedará definido por la siguiente malla:

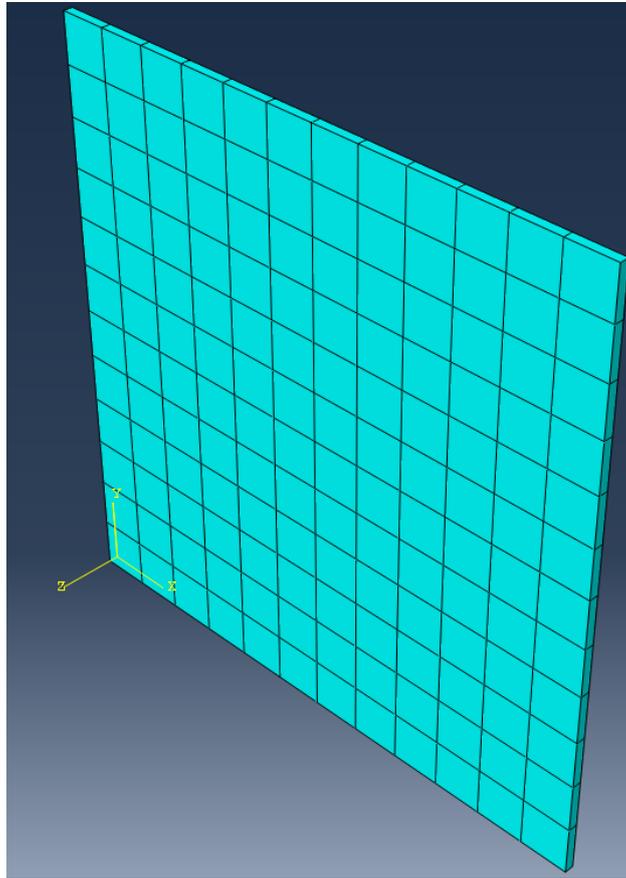


Figura 37. Resultado final del mallado de la probeta.

Ahora nos posicionamos en **Module / Load**. Hacemos click en “Predefined Field Manager” y le damos a “Create”:

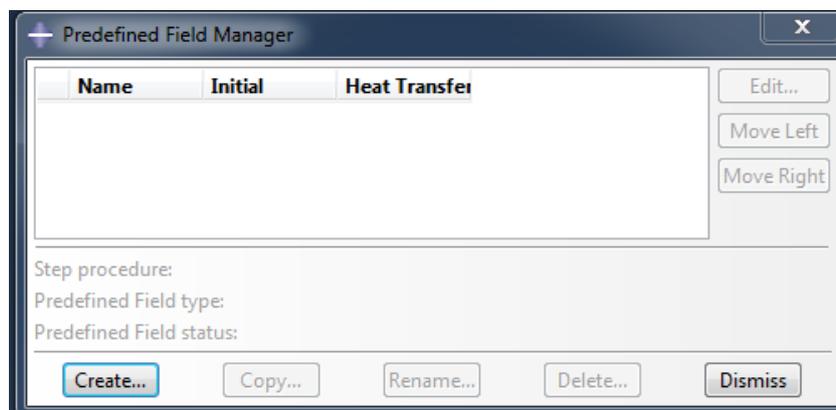


Figura 38. Creación de la carga a aplicar.

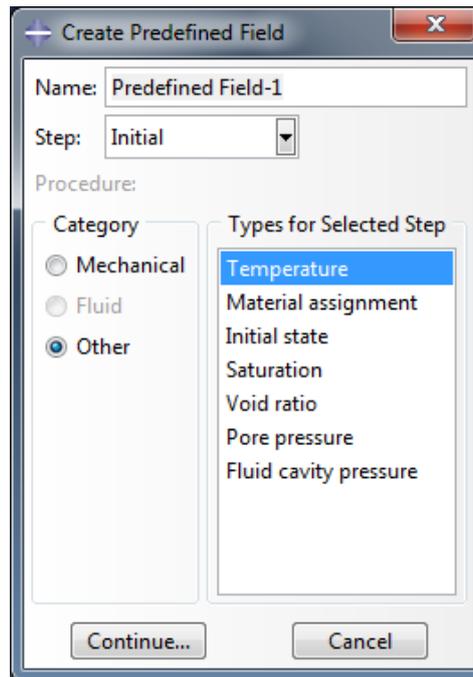


Figura 39. Creación del tipo de carga a aplicar.

Elegimos en “Category” la opción “Other” y en “Types for Selected Step” la casilla “Temperature”.

En la esquina inferior derecha vemos a elegir la casilla “Sets”, hacemos click en la opción “Todos_Nodos”, tic en “Highlight selections in Viewport” y le damos a “Continue”. Se nos abrirá la siguiente ventana.

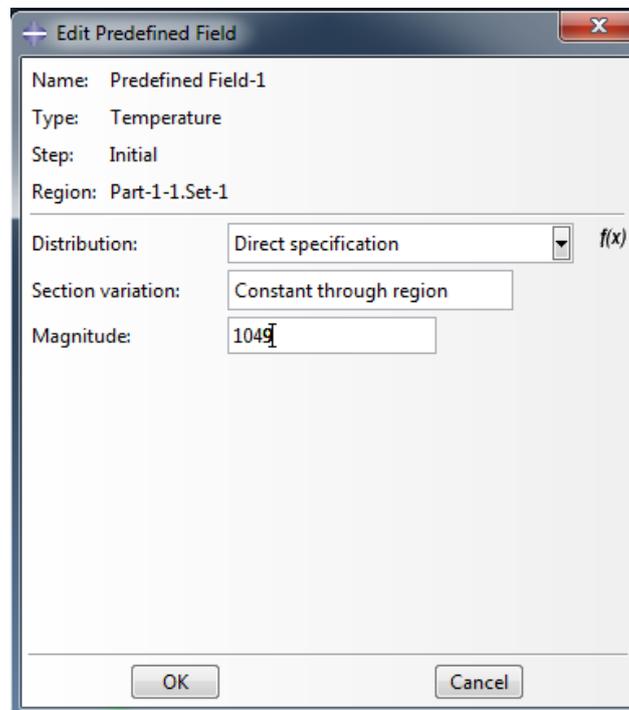


Figura 40. Definición del máximo de temperatura en la curva.

En ella, debemos insertar en la casilla “Magnitude” el valor 1049 °C, que es la temperatura que alcanza el perfil de temperaturas de la ISO 834 a las 2 h de ensayo (la cantidad de tiempo que le pusimos anteriormente).

Antes de comenzar el cálculo, debemos insertar las constantes necesarias para el software a la hora de realizar la modelización. Para ello, vamos a las pestañas de la izquierda de la pantalla. En “Model” hacemos click derecho y elegimos “Edit attributes”. Se nos abrirá la siguiente ventana.

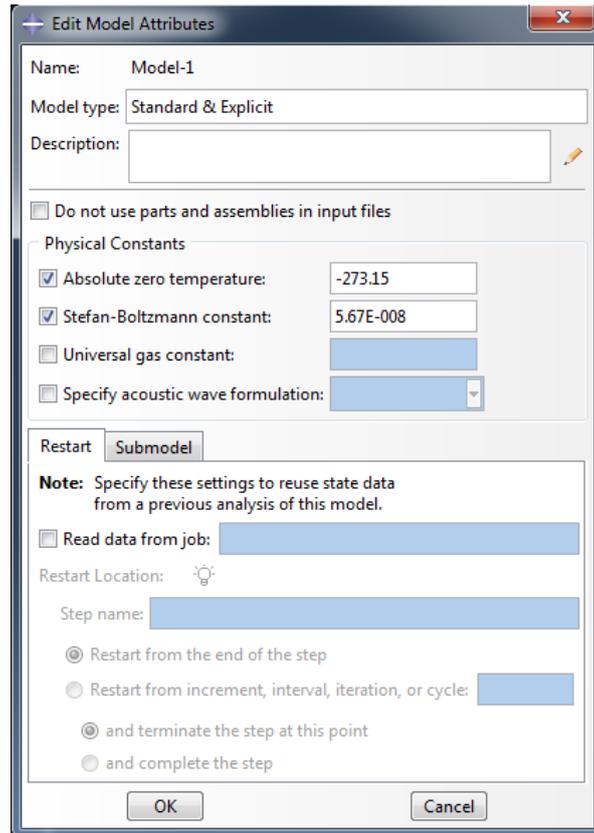


Figura 41. Introducción de las constantes físicas necesarias para realizar el cálculo.

Insertamos en ella el valor del cero absoluto en grados Celsius (-273,15 °C) y la constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$).

Por último, nos colocamos en **Module / Job** y abrimos la ventana “Job Manager”.

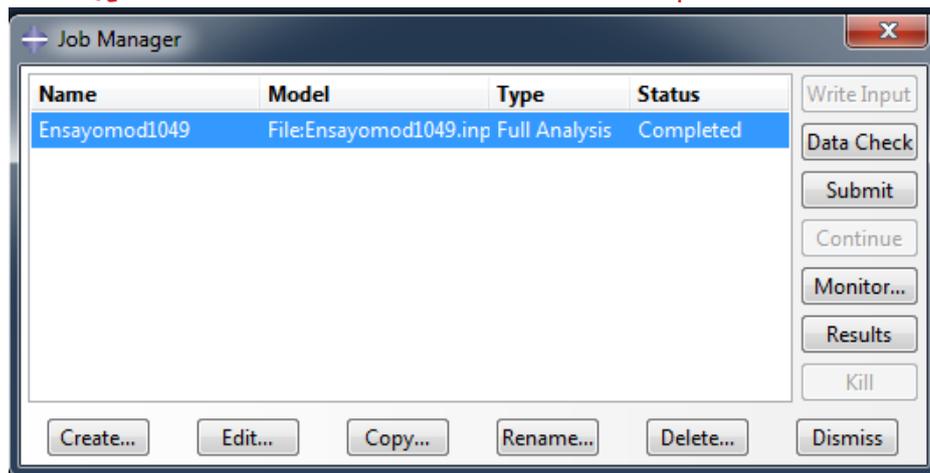


Figura 42. Creación del cálculo sobre la probeta.

Hacemos click en “Create” y ponemos en “Name” el nombre que le queremos dar al ensayo (en este caso se le ha llamado “Ensayomod1049”). Una vez definido presionamos “Data Check” y el programa comprobará si hay algún error en el *script*. Si no hay ningún error, podremos empezar el cálculo. Basta con oprimir la tecla “Submit” para llevar a cabo el cálculo.

Para poder ver el resultado, debemos ir a la pestaña denominada **Module / Visualization**.

Una vez se haya completado, podremos ver el resultado de la modelización en la pestaña “Results”.

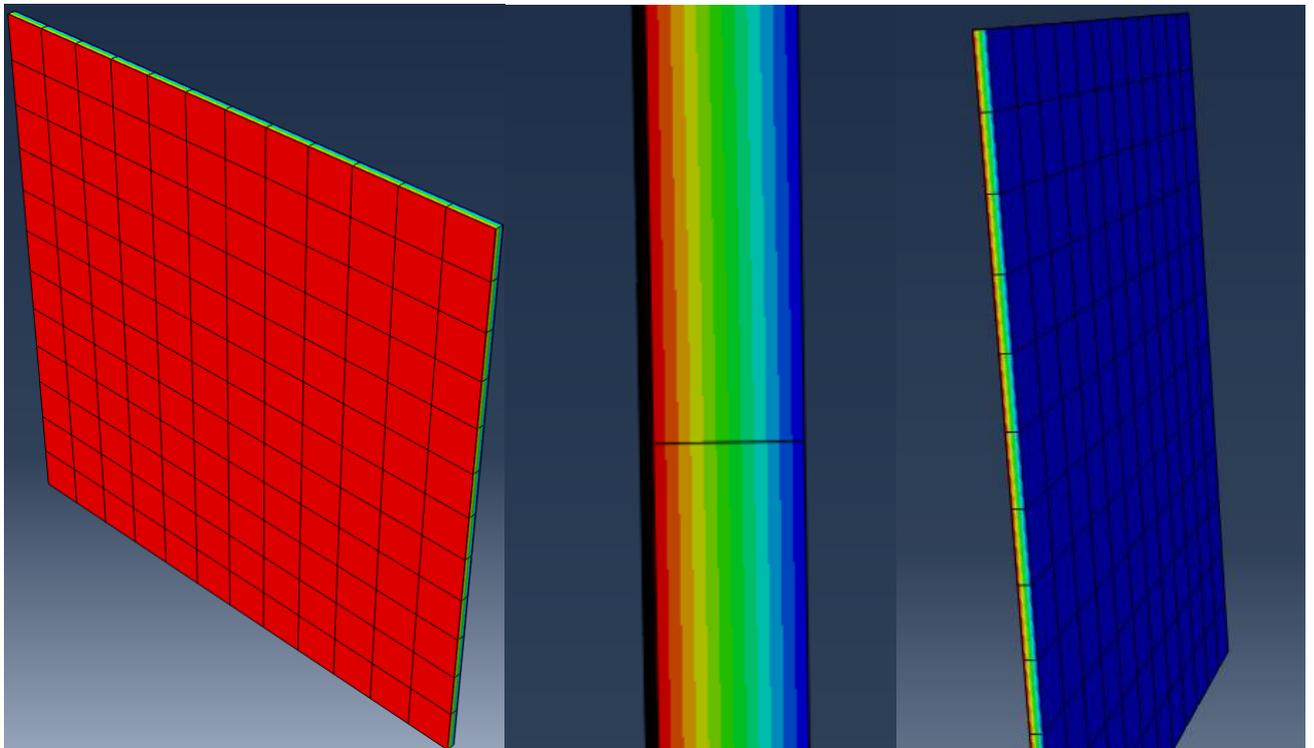


Figura 43. Diferentes capturas del perfil de temperaturas generado en la probeta.

En Module/Visualization, buscar el siguiente icono (Create XY data):



Elegimos “ODB field output” → Continue

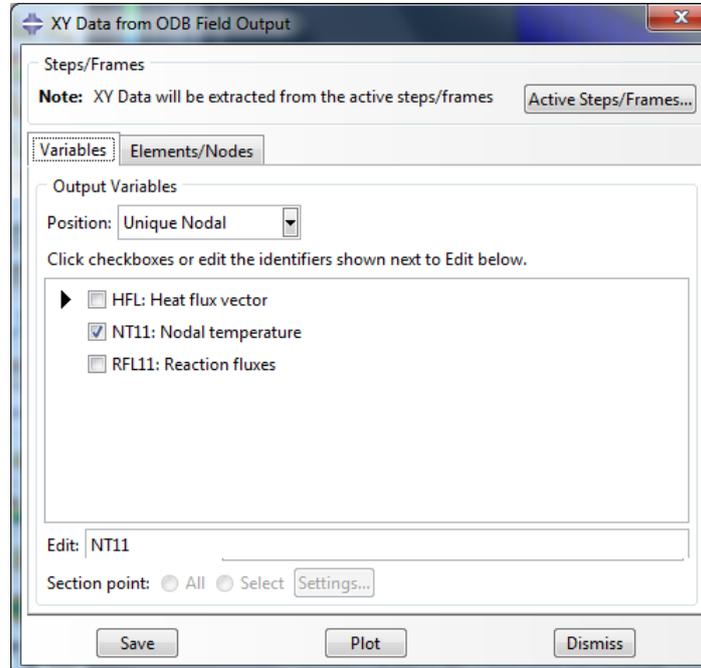


Figura 44. Selección de las propiedades a representar en los resultados.

A partir de ese paso, debemos escoger en que parte del modelo queremos tomar las temperaturas, en nuestro caso lo queremos tomar en los **nodos** del modelo:

Element/Nodes → “Pick from viewport” → “Edit selection” → Pinchar en el nodo donde ver el cambio de T → Done → Plot → Dismiss

Seguidamente se puede apreciar las dos caras de la probeta ensayada. La cara expuesta (cara que queda encarada frente a la fuente de calor del horno de resistencia) y la cara no expuesta (cara que vemos durante el ensayo).

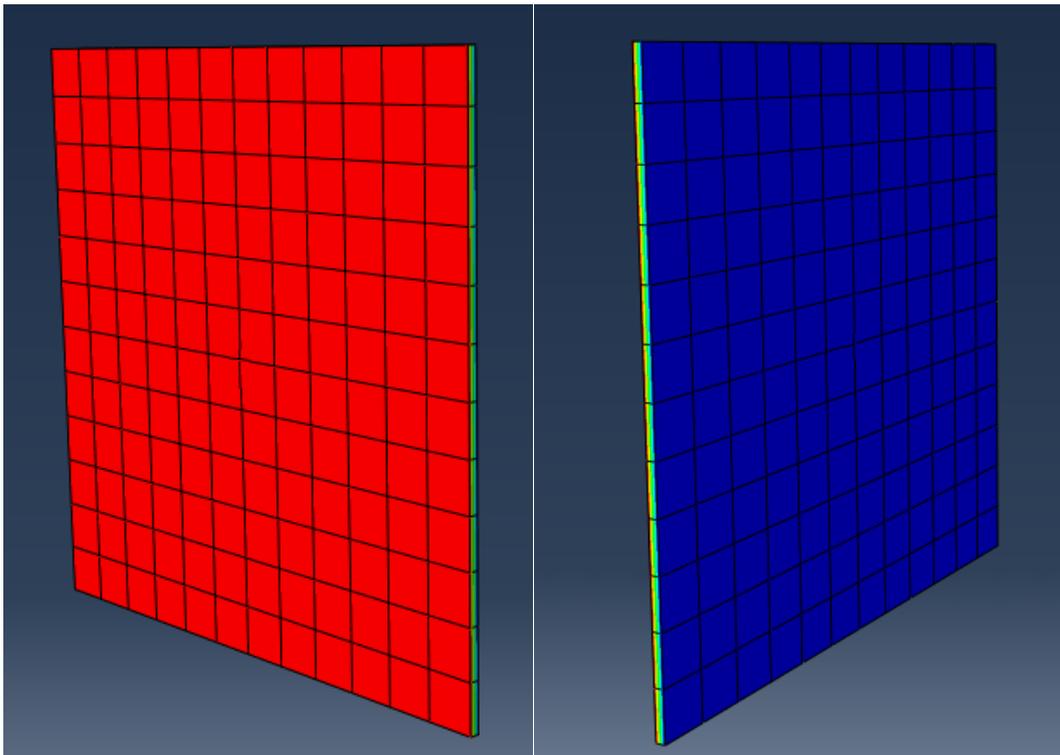


Figura 45. Diferentes caras de la probeta ensayada. Izquierda: cara expuesta. Derecha: cara no expuesta.

El gradiente de calor se difunde a lo largo del espesor de la muestra en función del tiempo de exposición de la fuente de calor. La cantidad de calor aumenta de menos a más en el modelo con el siguiente orden: **azul, verde, amarillo, naranja y rojo**.

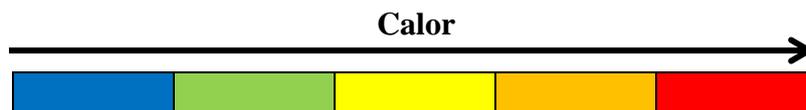


Figura 46. Gradiente de temperaturas en función del calor.

3.2 Resultados de la modelización de los ensayos de resistencia al fuego.

La carga de temperatura ISO 834 ha sido aplicada en cada una de las probetas para simular el ensayo de resistencia al fuego según norma EN 1364-1:1999. Para realizar la medición de temperaturas en la cara no expuesta, se ha seguido las indicaciones de la Figura 2 de la norma, en la que se detalla la posición de los termopares en la cara no expuesta para “paredes de mampostería o fábrica”.

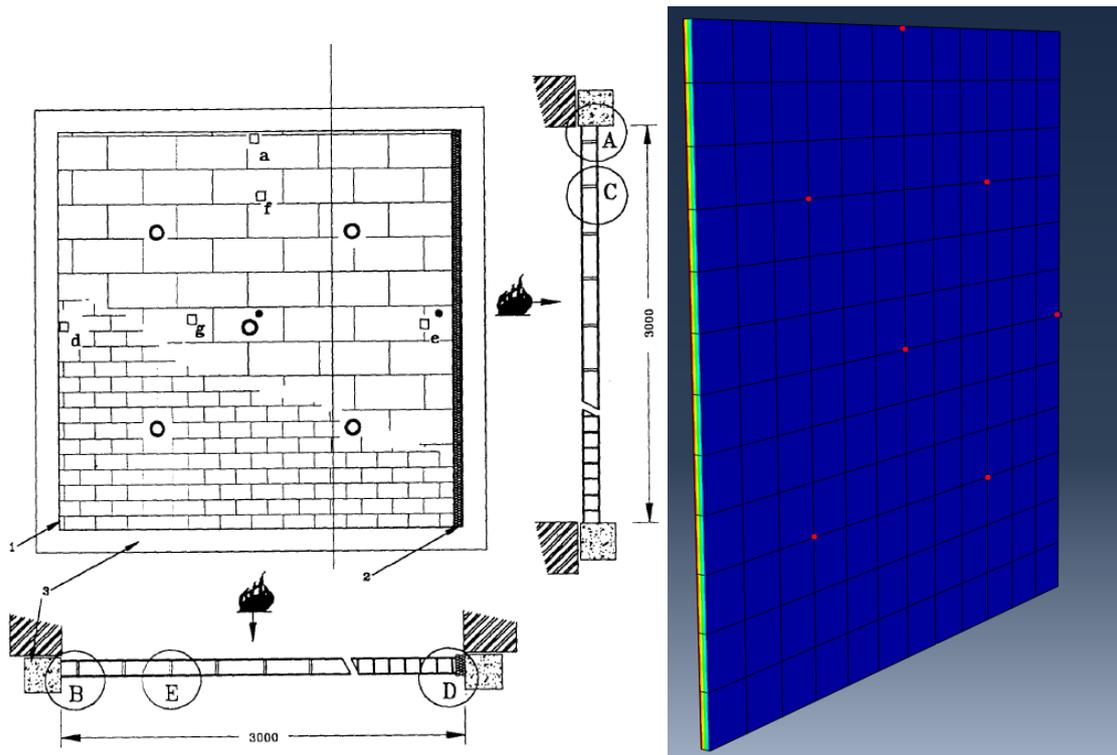


Figura 47. Disposición de los termopares en la cara no expuesta. Izquierda: esquema de la norma. Derecha: colocación de los termopares en la modelización.

A partir de los valores obtenidos en los 5 puntos centrales donde se han colocado termopares en el modelo creado, se realiza una media para obtener la temperatura en función del tiempo para la cara no expuesta.

Adicionalmente, se ha colocado un termopar en el punto central de la cara expuesta (a modo de seguimiento, ya que la norma no lo obliga a colocar) para poder comparar la temperatura de ambas caras en función del tiempo, como veremos a continuación.

Se han obtenido los siguientes perfiles de temperatura para las dos caras (cara expuesta y cara no expuesta):

➤ **Fibrosilicato cálcico:**

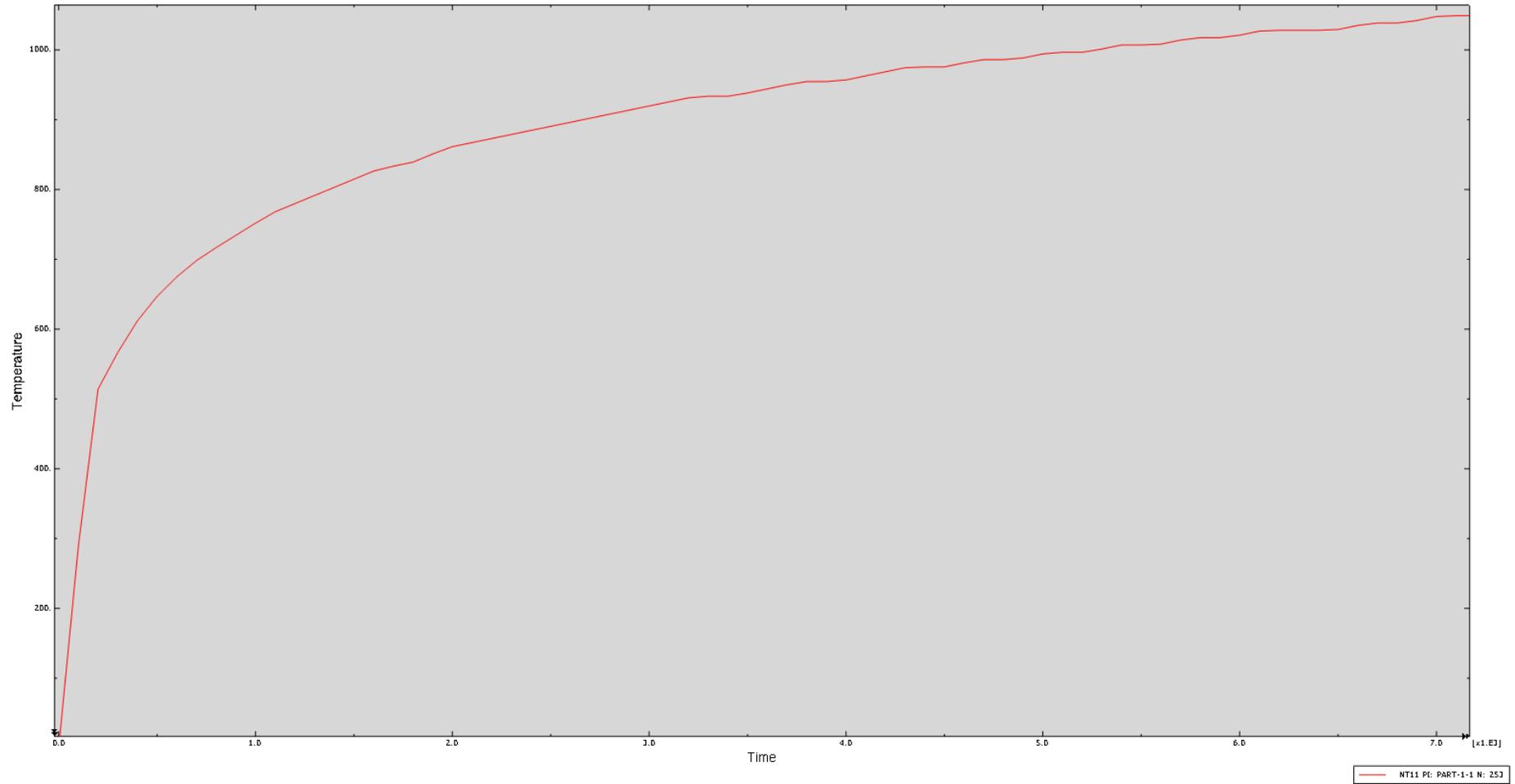


Figura 48. Gráfica de temperaturas del termopar en la cara expuesta.

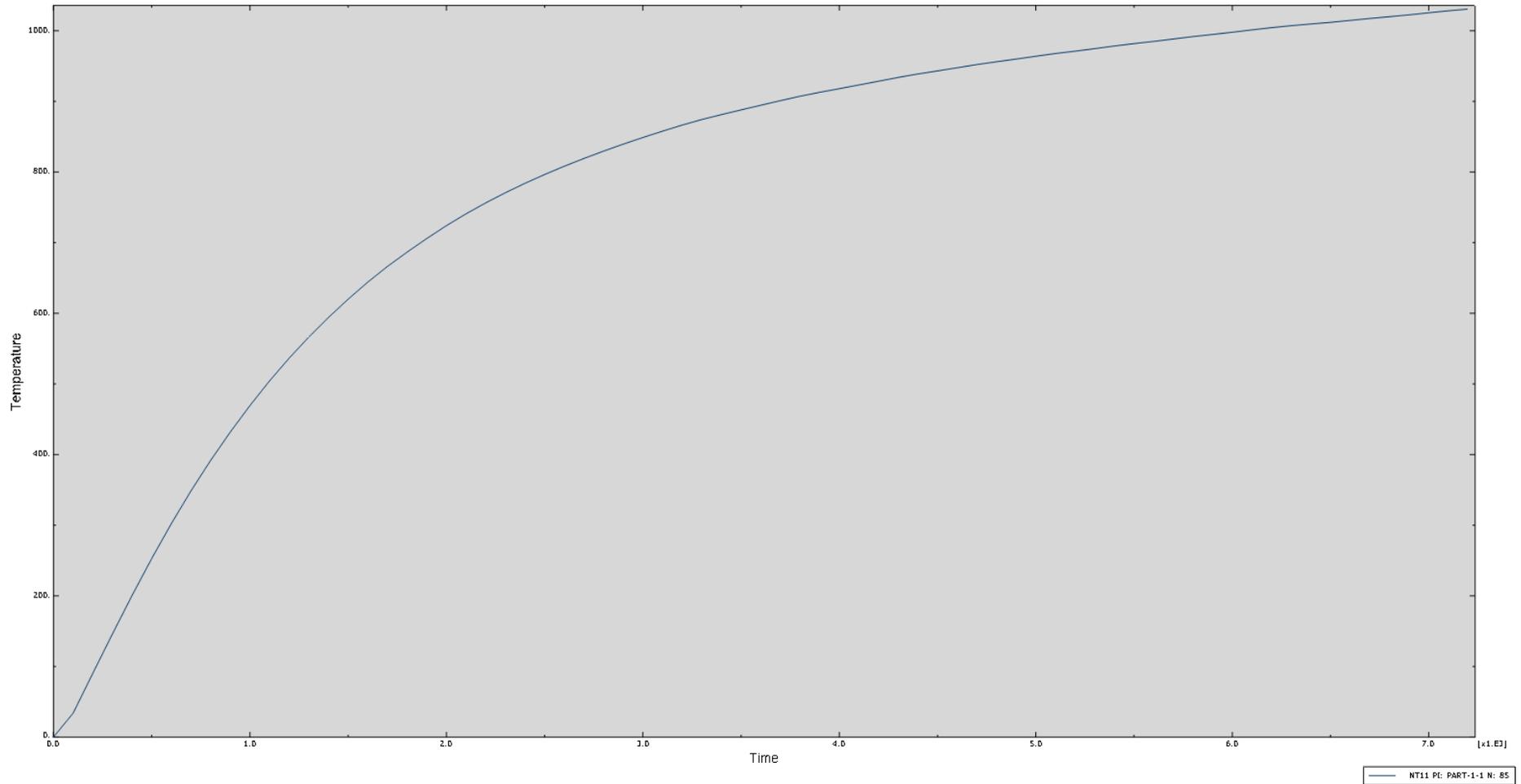


Figura 49. Gráfica de temperaturas del termopar en la cara no expuesta.

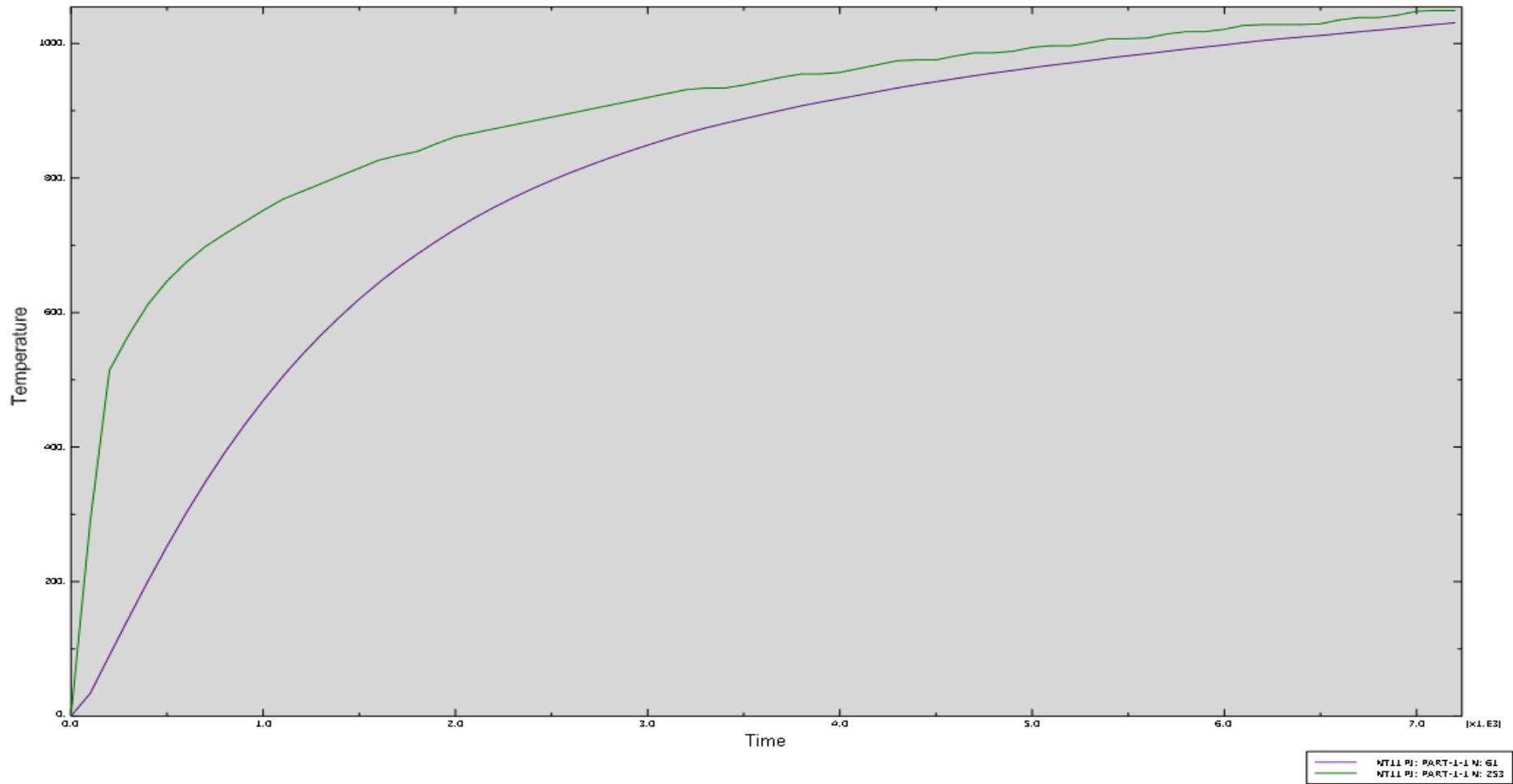


Figura 50. Gráfica comparativa de la temperatura en ambas caras. Verde: cara expuesta; morado: cara no expuesta.

A partir del resultado obtenido en la probeta de fibrosilicato cálcico, se ha realizado sucesivas capturas del ensayo con el fin de observar la progresión del calor a lo largo del espesor de la probeta. El gradiente de temperaturas es el estipulado en la Figura 46.

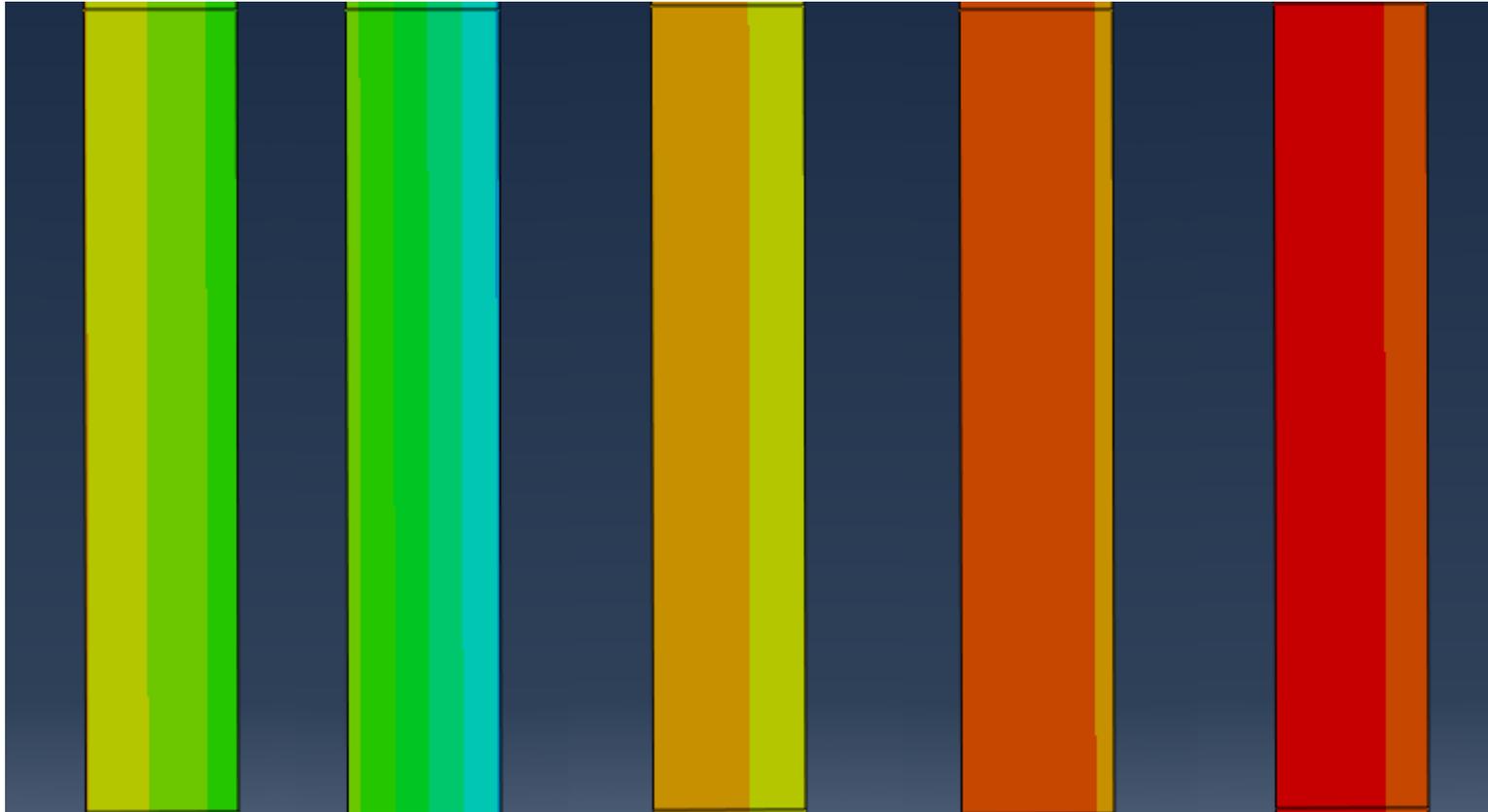


Figura 51. Difusión del calor en el espesor de la muestra de fibrosilicato cálcico.

➤ **Tablero contrachapado:**

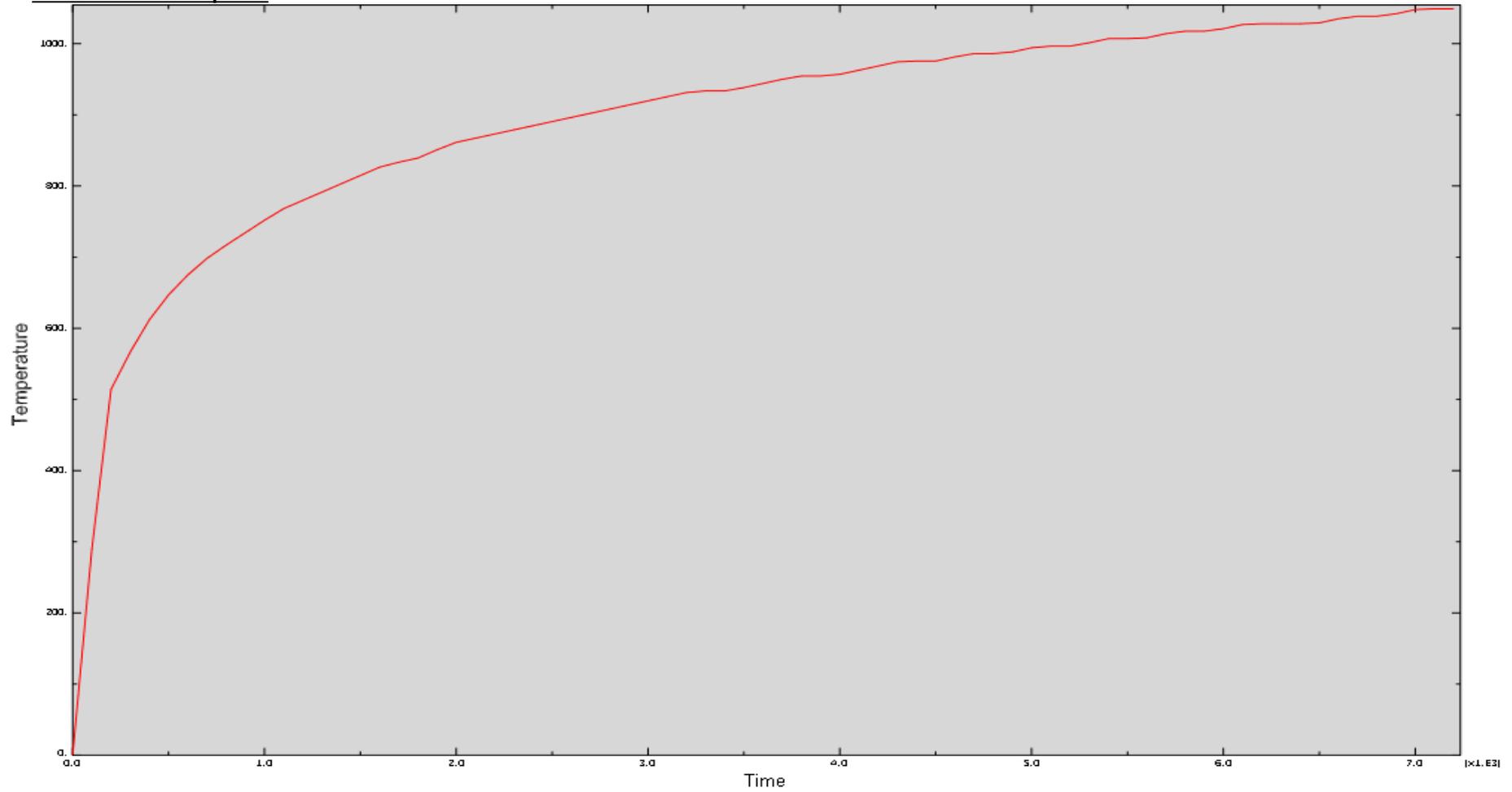


Figura 52. Gráfica de temperaturas del termopar en la cara expuesta.

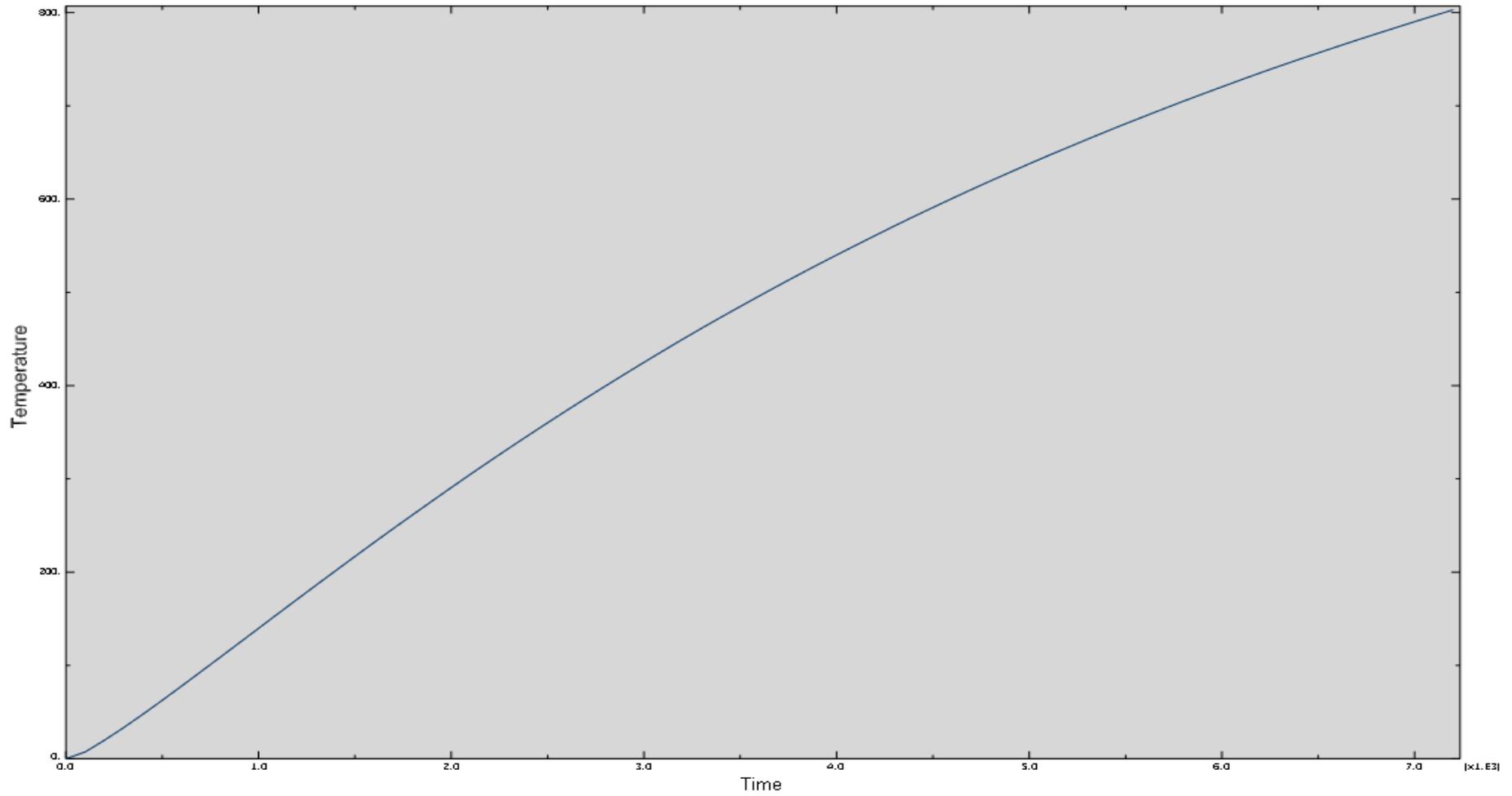


Figura 53. Gráfica de temperaturas del termopar en la cara no expuesta.

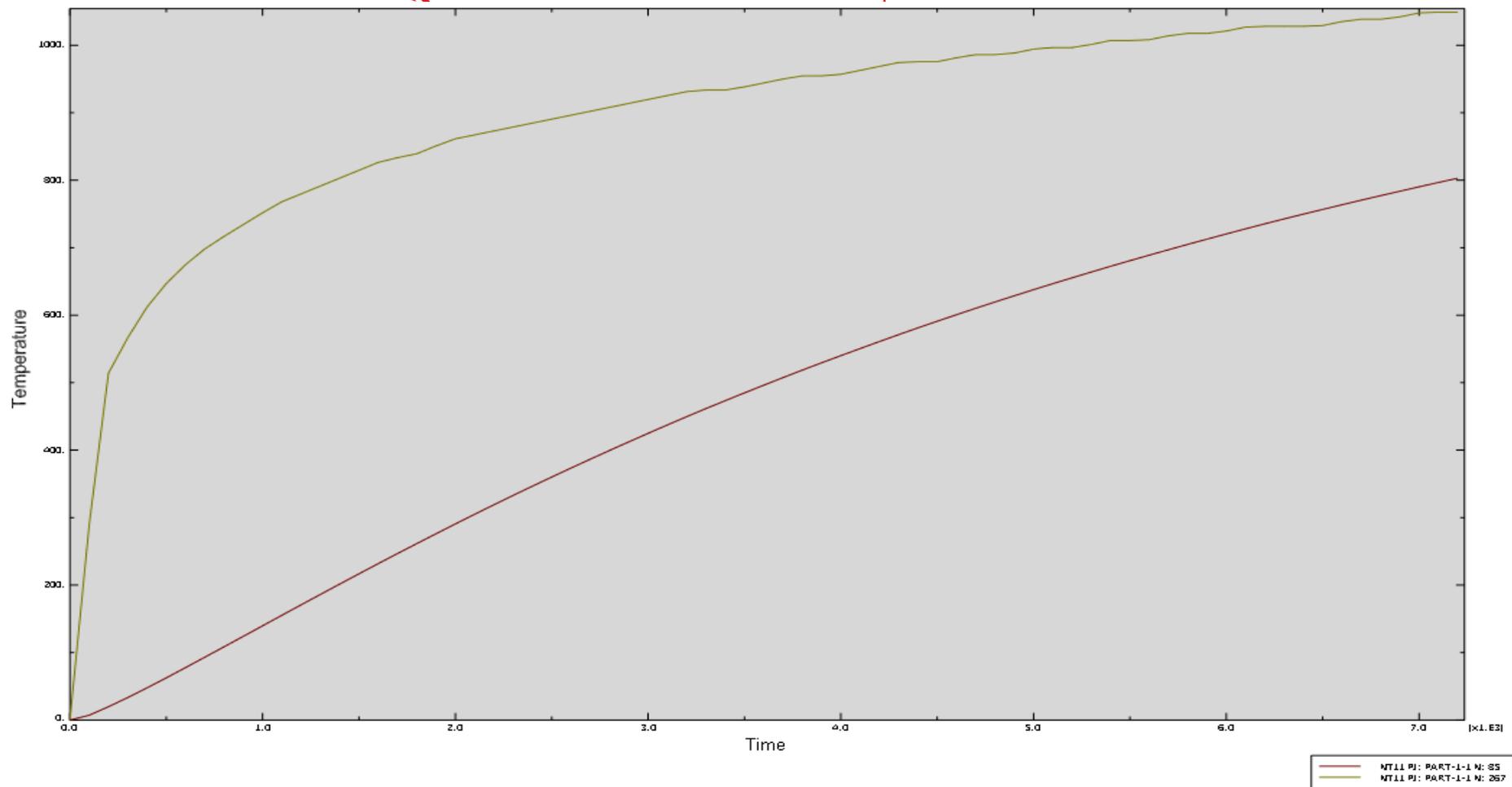


Figura 54. Gráfica comparativa de la temperatura en ambas caras. Beige: cara expuesta; marrón: cara no expuesta.

Tal y como se ha realizado anteriormente en el caso de la probeta de fibrosilicato cálcico, ahora de nuevo se han realizado capturas del ensayo a distintos tiempos para ver la difusión del calor en la probeta de contrachapado. Si lo comparamos con el resultado del fibrosilicato, podemos observar como ahora el calor no penetra con la misma rapidez y se genera un perfil de temperaturas en el espesor de la probeta, disminuyendo el calor desde la cara expuesta a la no expuesta.

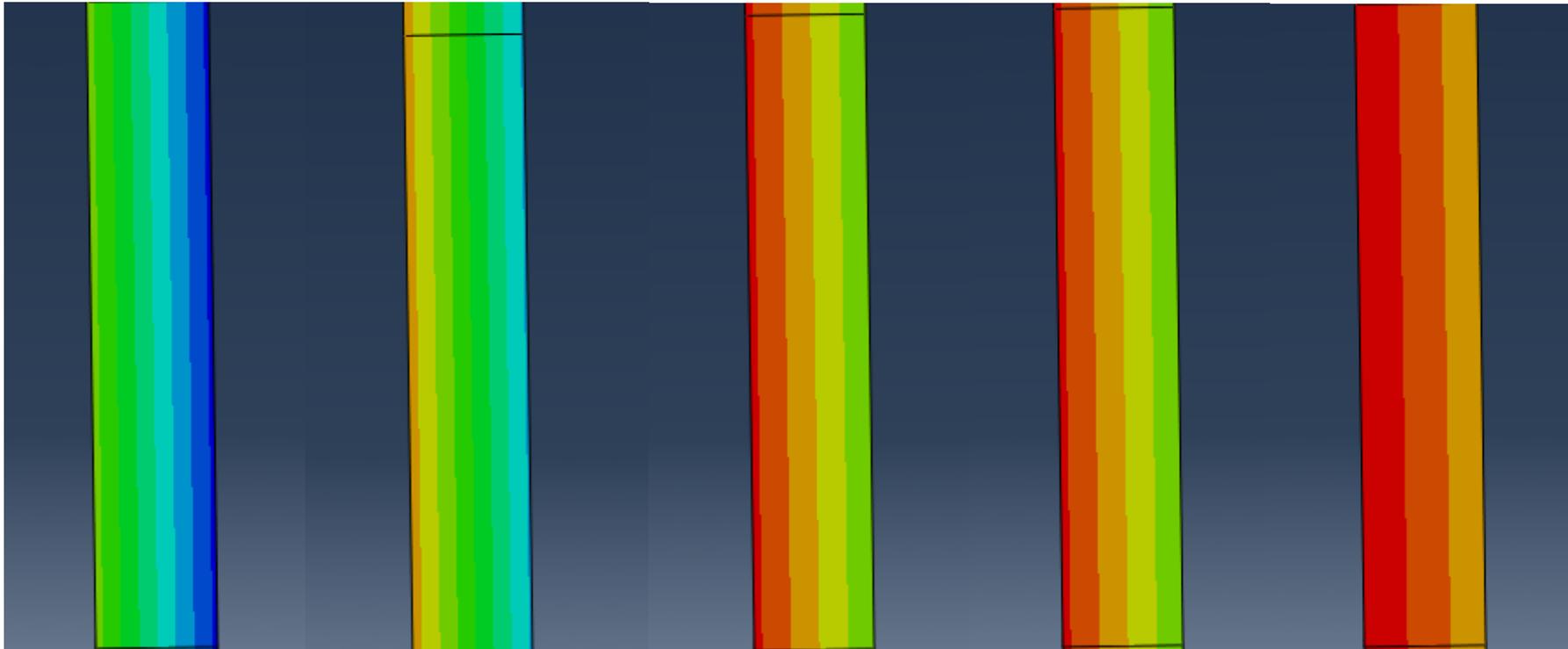


Figura 55. Difusión del calor en el espesor del tablero de contrachapado.

➤ **Plancha poliestireno:**

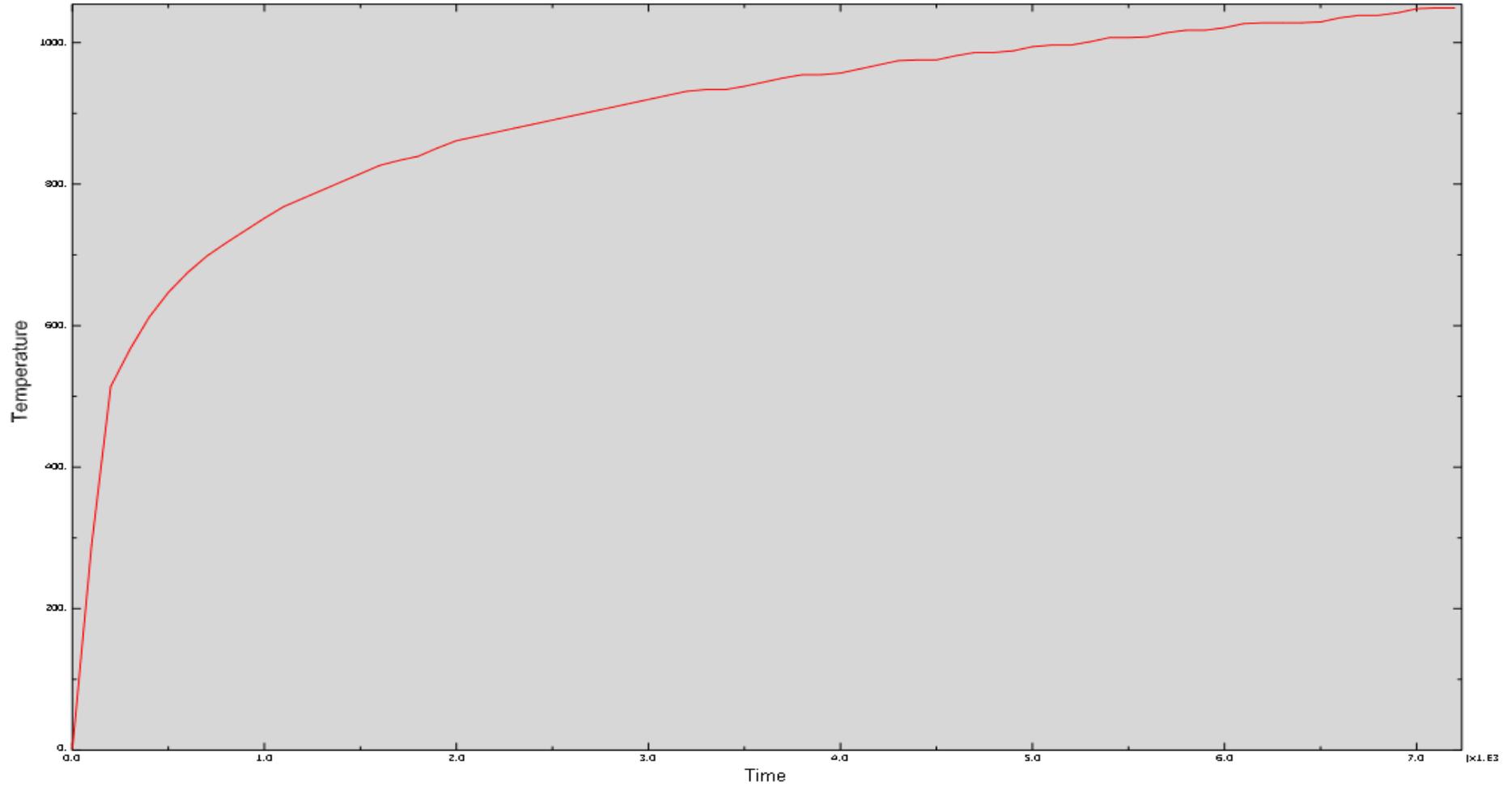


Figura 56. Gráfica de temperaturas del termopar en la cara expuesta.

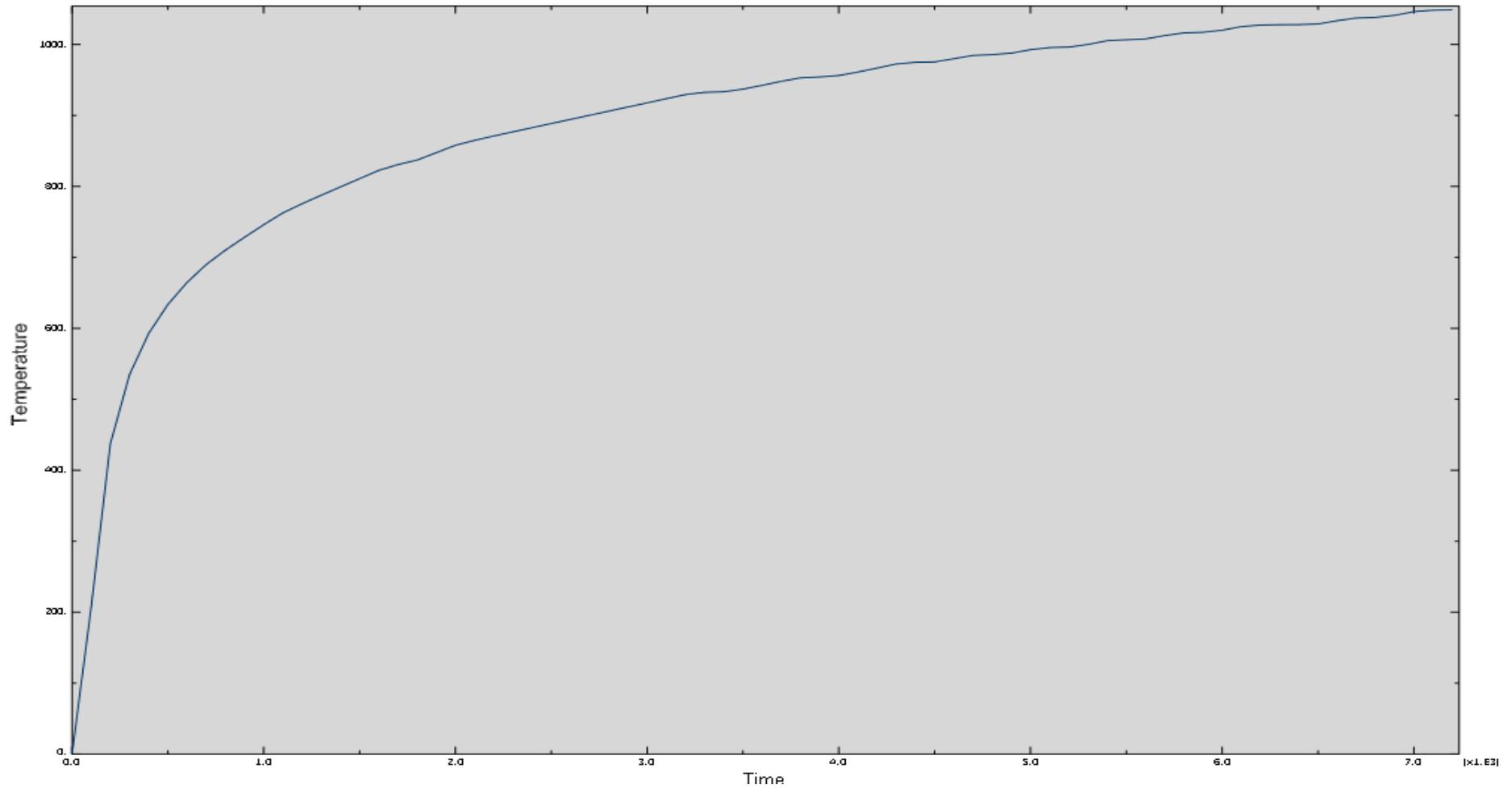


Figura 57. Gráfica de temperaturas del termopar en la cara expuesta.

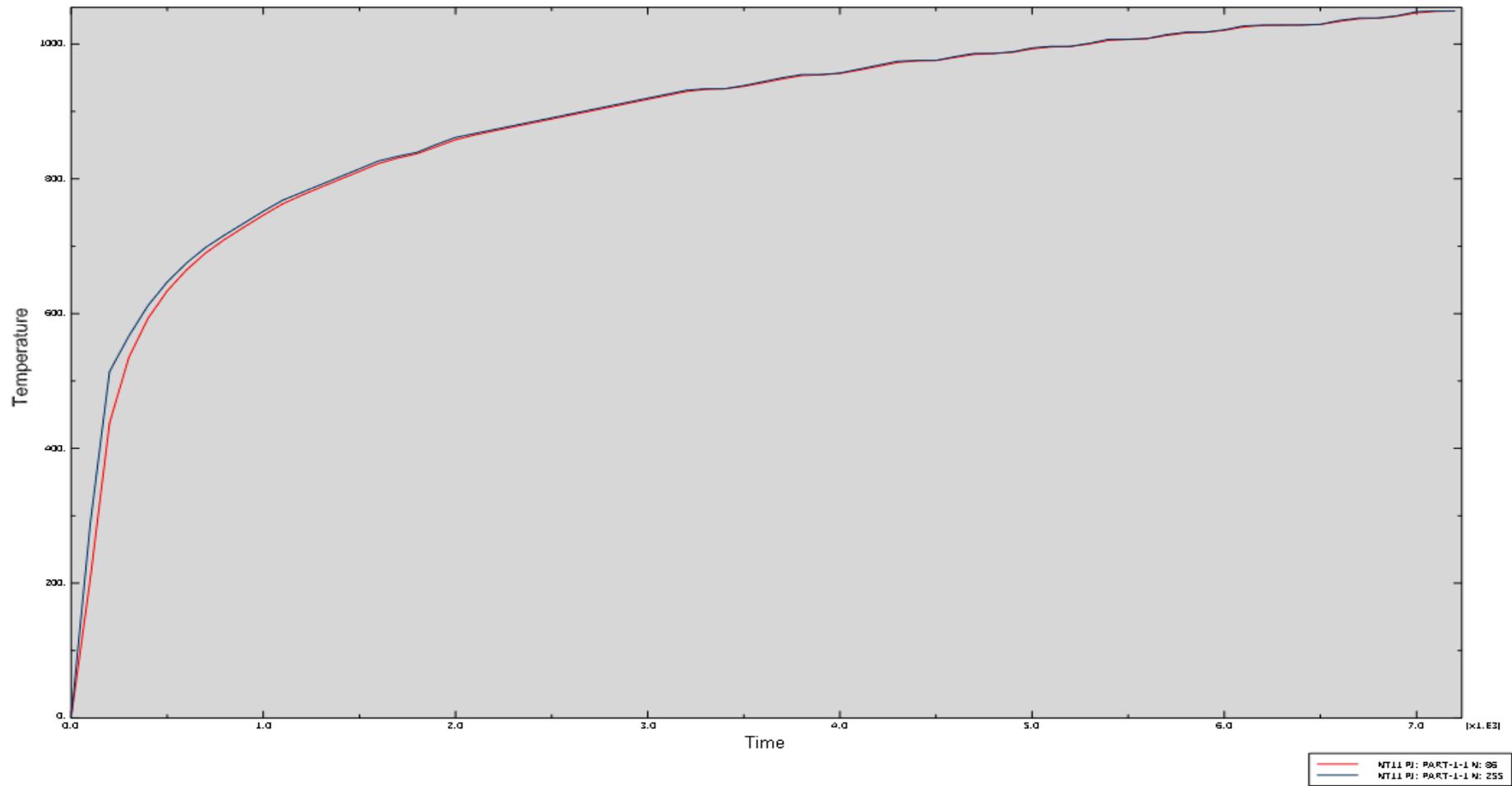


Figura 58. Gráfica comparativa de la temperatura en ambas caras. Azul: cara expuesta; rojo: cara no expuesta.

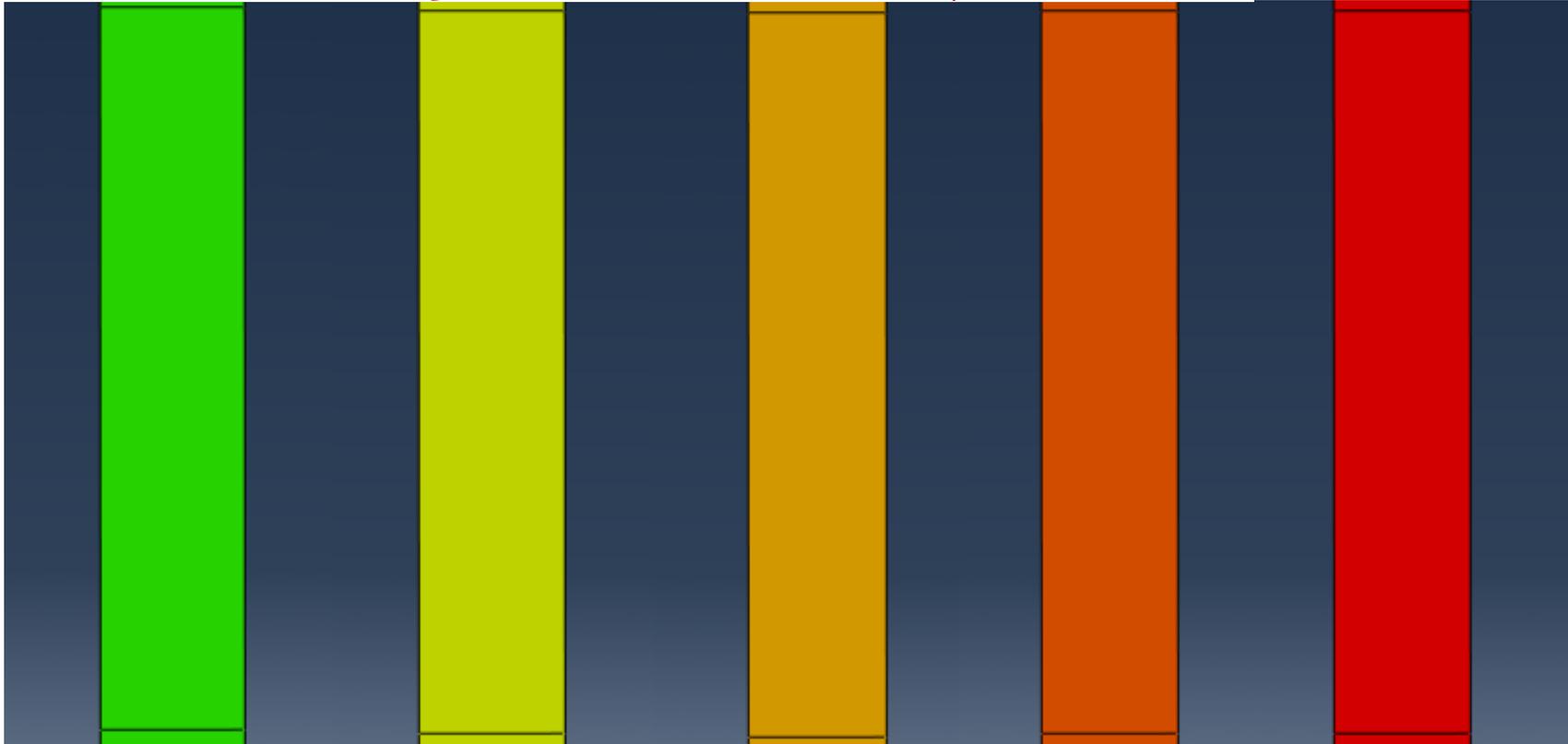


Figura 59. Difusión del calor en el espesor de la lámina de poliestireno.

De nuevo, se han realizado capturas del ensayo a distintos tiempos, en este caso para la plancha de poliestireno. Tal y como se especifica en la Tabla 4, la densidad de este material es muy inferior a la del contrachapado y a la del fibrosilicato cálcico. Por ello, el calor se difunde rápidamente de una cara a la otra y no llega a existir un gradiente de temperaturas apreciable en el espesor de la propia probeta.

- **Discusión de los resultados:**

Según los resultados de la modelización realizada, el **tablero contrachapado** es el material que peor difunde el calor a lo largo del espesor de la probeta y, por tanto, menor temperatura alcanza en la cara no expuesta. En el diagrama de difusión de calor marcado con colores se aprecia un gradiente de temperaturas dentro de la propia muestra, lo que demuestra la dificultad que tiene el calor en penetrar en el material.

Sin embargo la simulación no ha tenido en cuenta la posible inflamación del tablero a dichas temperaturas, ya que la madera comienza a quemarse en torno a los 300-350 grados centígrados. La inflamación provocará la pérdida de capacidad portante (R), integridad (E) y aislamiento (I), si bien al ser un material que difunde lentamente el calor y con una velocidad de carbonización baja (0,65 mm por minuto), podría ser un buen material para valores R30-R45, dependiendo de su densidad y espesor.

En el **fibrosilicato cálcico** se observa una mayor velocidad de difusión de calor desde la cara expuesta hacia la cara no expuesta de la probeta. De hecho, si observamos la gráfica comparativa de ambas caras, vemos como la cara no expuesta sigue un comportamiento logarítmico más cercano a la temperatura existente en la cara expuesta. No se observa la atenuación de calor tan marcada del tablero contrachapado. Sin embargo, por los ensayos de reacción al fuego se conoce que su contribución al fuego es más limitada que en el caso del tablero contrachapado, y por lo tanto la probabilidad de obtener una mayor capacidad portante es mayor

Por otra parte, en el caso de la **lámina de poliestireno**, la baja densidad del material (18 kg/m³) hace que no exista un apantallamiento efectivo frente al calor y prácticamente hay la misma temperatura en las dos caras desde el primer segundo de ensayo. Queda patente con esta simulación que materiales con bajas prestaciones de reacción al fuego, sean materiales no aptos para ensayos de resistencia al fuego (al menos de uso directo).

La discusión de estos resultados pone de manifiesto que la hipótesis inicial en la que se planteaba que aquellos materiales que hubieran obtenido unos mejores resultados en los ensayos de caracterización iniciales, obtendrían mejores resultados en la modelización, es cierta sólo parcialmente y por lo tanto dicha hipótesis necesita ser modificada.

4 MODIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

A la vista de los resultados obtenidos en las simulaciones explicadas detalladamente en el apartado 3, se deben plantear varias **modificaciones** en la hipótesis.

1. No bastará con disponer de una buena clasificación de reacción al fuego, sino que resulta crítico el contenido orgánico del material y dónde se sitúa en el elemento constructivo, ya que tan pronto como el fuego consiga llegar hasta la porción orgánica, aumentará la temperatura y hará que disminuyan las capacidades portantes, aislantes y de integridad. Se propone la **simulación de elementos compuestos** por varios materiales, en los que los elementos con menor contenido orgánico se sitúen en las caras y los materiales con un mayor contenido orgánico se sitúen en el centro de la probeta.
2. No se han tenido en cuenta la **presencia de juntas** (puntos débiles) a partir de los cuales las llamas pueden penetrar desde la cara expuesta a la cara no expuesta,



además de conducir a aberturas y grietas de unas dimensiones que resulten criterio de fallo de estanqueidad.

3. El parámetro de la **conductividad térmica** resulta valioso siempre y cuando **acompañen el resto de propiedades**. De nada sirve ser un gran aislante térmico si el material es inflamable (como en el caso de la plancha de poliestireno).
4. A **mayor densidad** y **mayor espesor** mejores prestaciones, siempre y cuando las propiedades de **reacción al fuego sean B o superior**. Siempre se comportará mejor un tablero contrachapado ignífugo de 30mm que uno de 19 mm con la misma clasificación de reacción al fuego. Del mismo modo, un tablero inerte de **mayor densidad** ofrecerá mejores resultados que uno de menor densidad.

4.1 Generación de soluciones constructivas mejoradas

Con el fin de corroborar las modificaciones de la hipótesis planteadas en el apartado anterior, se han generado diversas **soluciones constructivas heterogéneas** (varios materiales dispuestos de tal manera que en las caras expuestas estuvieran los materiales más inertes (menor contenido orgánico) con una densidad mayor y un espesor menor, y el interior estuviera formado por un material con mayor contenido orgánico, de menor densidad pero mayor espesor, con el fin de obtener información de su comportamiento frente a los ensayos de resistencia al fuego teóricos de manera comparativa para dilucidar si las mejoras de las hipótesis son aceptables.

Para poder realizar la comparativa se decidió emplear el mismo espesor en la capa central (40 mm) y en las caras exteriores (19 mm).

- **Solución constructiva A**

Panel sándwich de 78 mm de espesor total formado por caras externas de tablero contrachapado ignífugo (B-s1,d0) de 19 mm y densidad de 450 kg/m^3 , idéntico al utilizado en las modelizaciones iniciales, y una capa central de plancha de poliestireno expandido de 40 mm de espesor y densidad de 18 kg/m^3 , idéntico al utilizado en las modelizaciones iniciales.

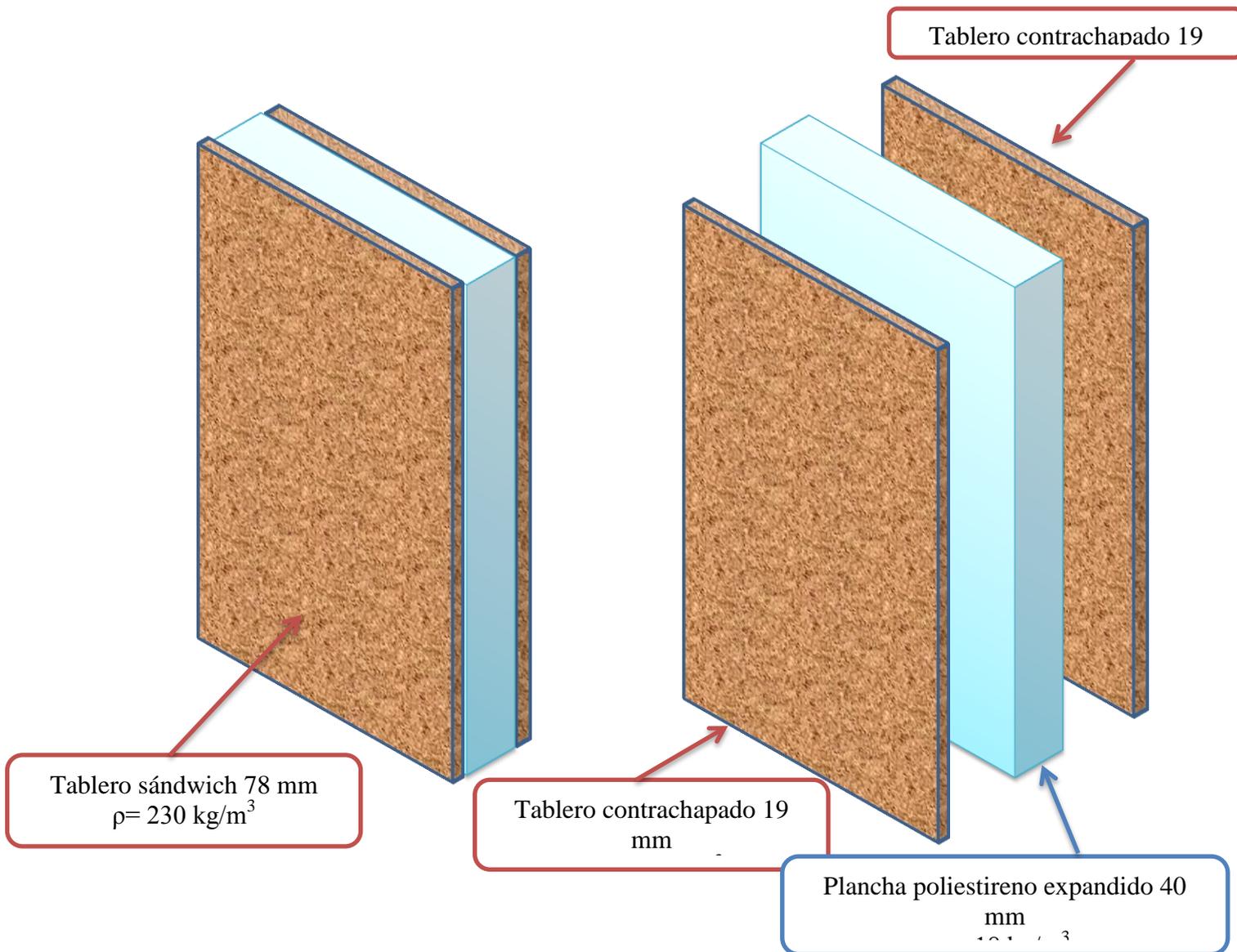


Figura 60. Esquema de la solución constructiva A: Panel sándwich TC+ EPS + TC

- **Solución constructiva B**

Panel sándwich de 78 mm de espesor total formado por caras externas de tablero contrachapado ignífugo (B-s1,d0) de 19mm y densidad de 450 kg/m^3 , idéntico al utilizado en las modelizaciones iniciales, y una capa interna de 40 mm de espesor de lana de roca (mineral wool: MW) de densidad 50 kg/m^3 .

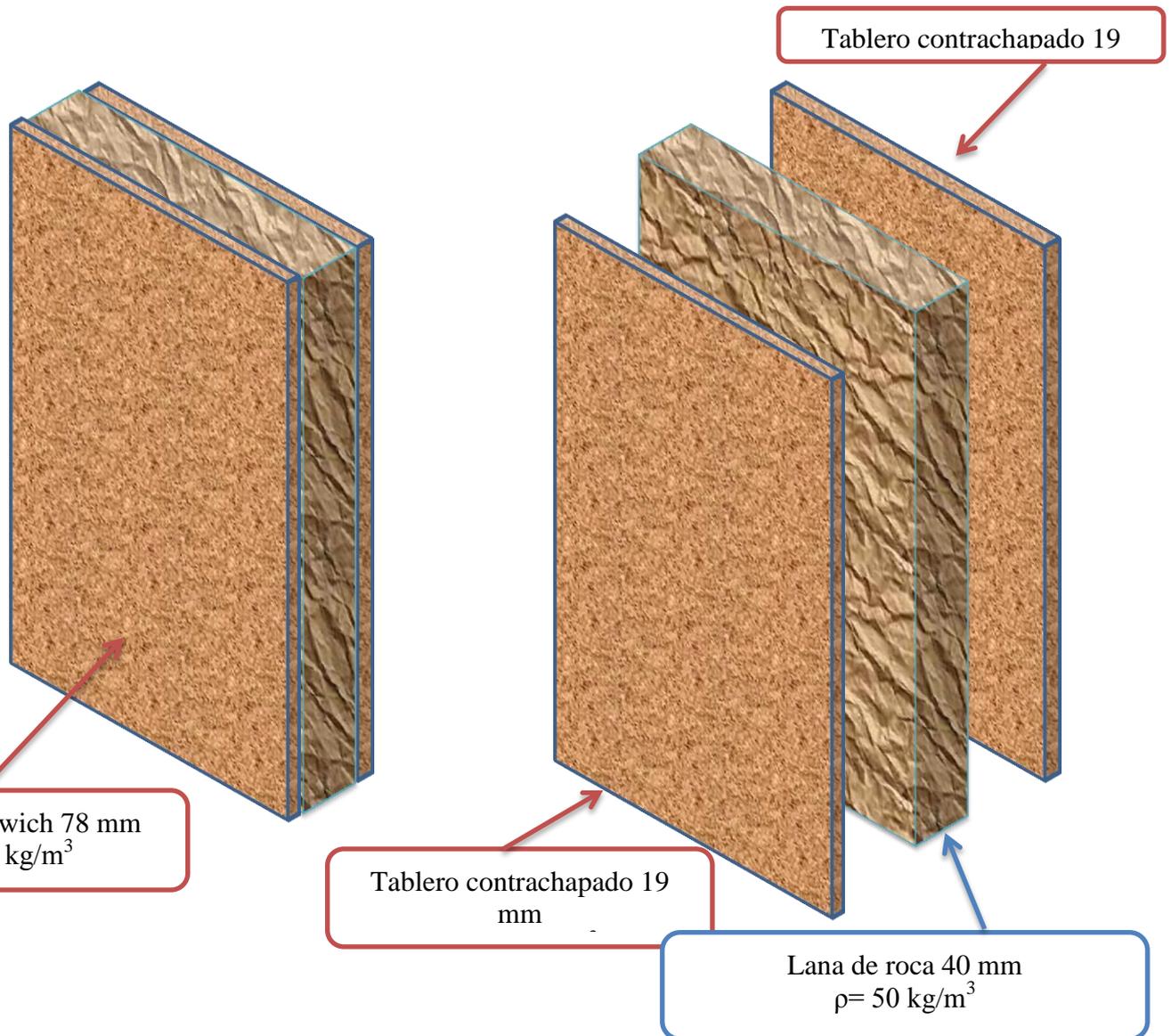


Figura 61. Esquema de la solución constructiva B: Panel sándwich TC+ MW + TC

- **Solución constructiva C**

Panel sándwich de 78 mm de espesor total formado por caras externas de tablero inerte (TI) de fibrosilicato cálcico (A2-s1,d0) de 19 mm y densidad de 870 kg/m^3 , idéntico al utilizado en las modelizaciones iniciales, y una capa central de plancha de poliestireno expandido de 40 mm de espesor y densidad de 18 kg/m^3 , idéntico al utilizado en las modelizaciones iniciales.

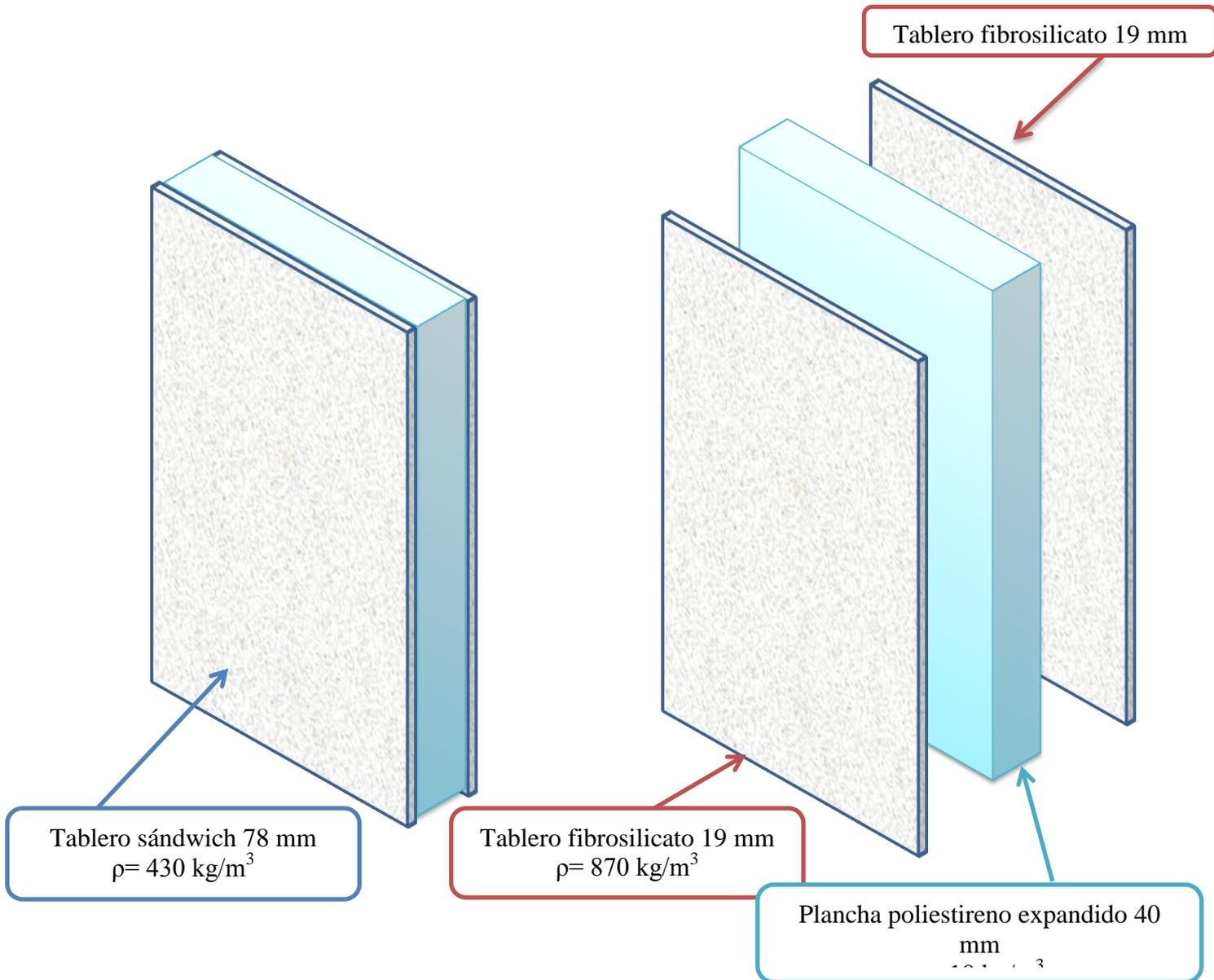


Figura 62. Esquema de la solución constructiva C: Panel sándwich TI+ EPS + TI

- **Solución constructiva D**

Panel sándwich de 78 mm de espesor total formado por caras externas de tablero inerte (TI) de fibrosilicato cálcico (A2-s1,d0) de 19 mm y densidad de 870 kg/m^3 , idéntico al utilizado en las modelizaciones iniciales, y una capa interna de 40 mm de espesor de lana de roca (mineral wool: MW) de densidad 50 kg/m^3 .

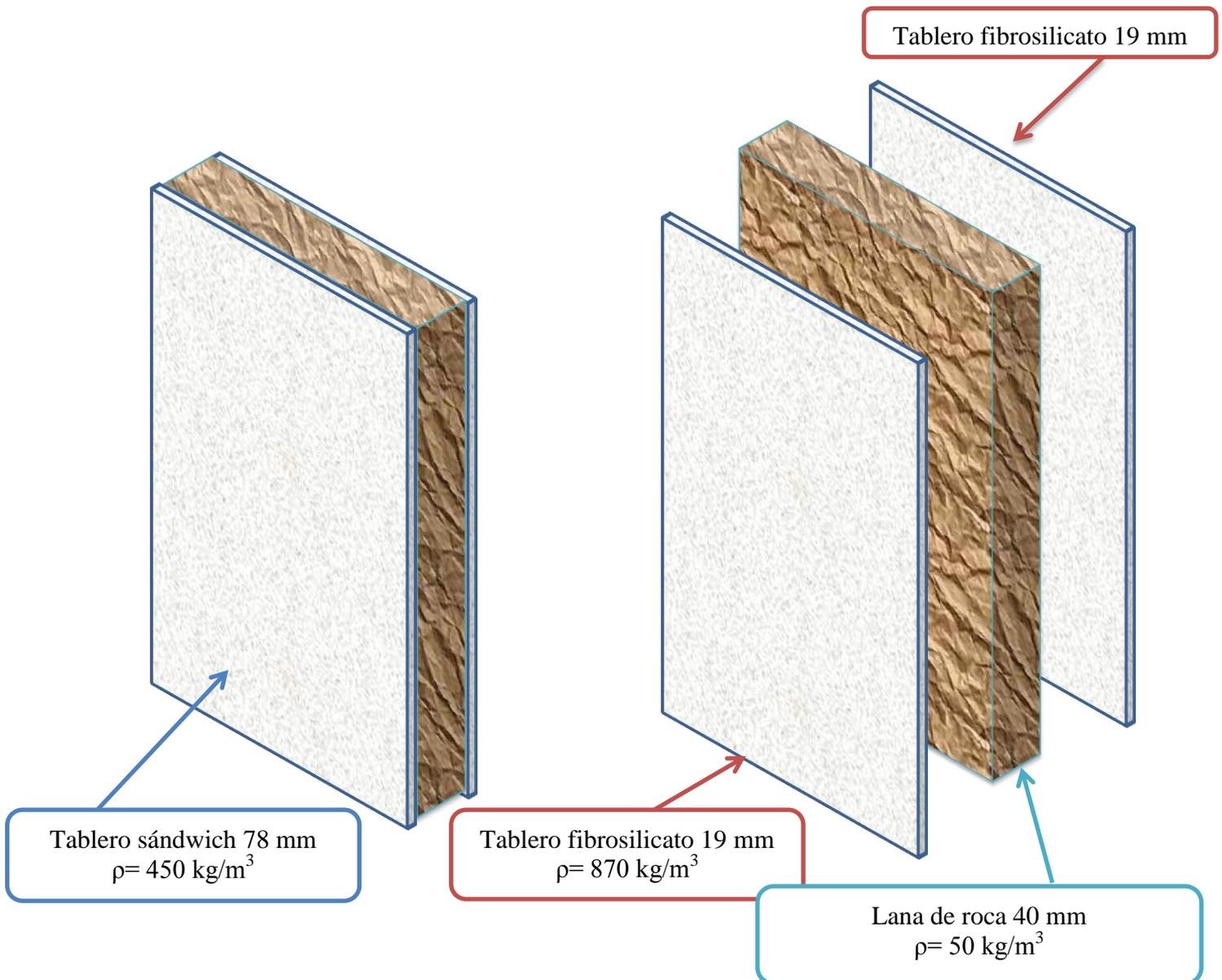


Figura 63. Esquema de la solución constructiva D: Panel sándwich TI+ MW + TI



4.2 Simulación de las soluciones constructivas mejoradas.

Con el fin de corroborar las modificaciones de la hipótesis planteadas en el apartado 4 del presente entregable, se sometieron a análisis mediante simulación ensayo resistencia al fuego bajo curva normalizada ISO 834, las cuatro soluciones constructivas descritas en el apartado 4.1.

Sin embargo, para cada capa del panel sándwich, hay que definir sus coordenadas e interacción con el resto de capas, generando así mayor número de coordenadas. Se necesitan un número suficiente de nodos para poder obtener información (como por ejemplo la temperatura en puntos concretos de la cara no expuesta), y al introducir el esquema de cada solución constructiva se supera el millar de nodos, siendo imposible la ejecución del trabajo (aplicar la curva de temperatura).

No obstante, el software permite el cálculo de un parámetro denominado “*Tiempo de aislamiento básico*”, que ofrece un valor aproximado de la capacidad portante del elemento, basándose en las propiedades de cada uno de sus componentes (espesor, densidad, conductividad térmica y clase de reacción al fuego). Con el fin de poder establecer una comparativa con los materiales iniciales que sí pudieron ser simulados completamente, también se han calculado los tiempos de aislamiento básicos para éstos elementos.

Tabla 6. Tiempos de aislamiento básico para materiales iniciales y soluciones constructivas

| Elemento | Tiempo de aislamiento básico (min) |
|--------------------------------------|------------------------------------|
| Tablero contrachapado (TC) | 18 |
| Tablero fibrosilicato cálcico (TI) | 26 |
| Plancha poliestireno expandido (EPS) | <1 |
| Solución A: TC+EPS+TC | 37 |
| Solución B: TC+MW+TC | 45 |
| Solución C: TI+EPS+TI | 53 |
| Solución D: TI+MW+TI | 62 |

- **Discusión de los resultados:**

Basándonos en los resultados ofrecidos por el software en el cálculo del tiempo de aislamiento básico, es evidente que la utilización de elementos con una mejor clasificación de reacción al fuego, arroja mejores resultados en los ensayos de resistencia al fuego (37 minutos del TC+EPS+TC en comparación con los 53 minutos del TI+EPS+TI).

La utilización de una capa central inerte (mismo espesor) aumenta 8-9 minutos su capacidad portante.

Las soluciones constructivas heterogéneas ofrecen mejores resultados que los elementos homogéneos, aunque los espesores finales no son comparables.



4.3 Verificación de las mejoras de hipótesis planteadas.

A la vista de los resultados obtenidos en las simulaciones explicadas detalladamente en el apartado 4.2, se puede valorar la validez de las mejoras planteadas.

1. *Hipótesis 1: No bastará con disponer de una buena clasificación de reacción al fuego, sino que resulta crítico el contenido orgánico del material y dónde se sitúa en el elemento constructivo, ya que tan pronto como el fuego consiga llegar hasta la porción orgánica, aumentará la temperatura y hará que disminuyan las capacidades portantes, aislantes y de integridad. Se propone la **simulación de elementos compuestos** por varios materiales, en los que los elementos con menor contenido orgánico se sitúen en las caras y los materiales con un mayor contenido orgánico se sitúen en el centro de la probeta.*

Valoración: VERDADERA. Se obtienen mejores comportamientos cuando el material orgánico está dispuesto en capas más alejadas de la acción del fuego. Dicha valoración se basa en los mejores resultados de los paneles con caras externas de tablero inerte que de tablero orgánico y en los mejores resultados obtenidos para paneles cuyo núcleo era inerte (lana mineral: MW) que los paneles cuyo núcleo era de material orgánico (EPS).

2. *Hipótesis 2: No se han tenido en cuenta la **presencia de juntas** (puntos débiles) a partir de los cuales las llamas pueden penetrar desde la cara expuesta a la cara no expuesta, además de conducir a aberturas y grietas de unas dimensiones que resulten criterio de fallo de estanqueidad.*

Valoración: NO COMPROBADA. No se ha podido obtener información de la influencia de las juntas mediante las simulaciones. Sin embargo, la normativa vigente registra que éstas son puntos críticos a la hora de fabricar e instalar las soluciones constructivas con capacidad portante, de estanqueidad y de aislamiento.

3. *Hipótesis 3: El parámetro de la **conductividad térmica** resulta valioso siempre y cuando **acompañen el resto de propiedades**. De nada sirve ser un gran aislante térmico si el material es inflamable (como en el caso de la plancha de poliestireno).*

Valoración: VERDADERA. Dicha valoración se basa en los mejores resultados obtenidos para los elementos simples de tablero contrachapado y panel de fibrosilicato que a pesar de tener un coeficiente de conductividad térmica mayor al del poliestireno expandido (EPS), poseen un mejor comportamiento frente al fuego, dejando en un segundo plano la capacidad de transmitir calor.



4. Hipótesis 4: A **mayor densidad** y **mayor espesor** mejores prestaciones, siempre y cuando las propiedades de **reacción al fuego sean B o superior**. Siempre se comportará mejor un tablero contrachapado ignífugo de 30 mm que uno de 19 mm con la misma clasificación de reacción al fuego. Del mismo modo, un tablero inerte de **mayor densidad** ofrecerá mejores resultados que uno de menor densidad.

Valoración: VERDADERA. Dicha valoración se basa en los mejores resultados obtenidos para los paneles heterogéneos compuestos (con mayor espesor) que los elementos simples de (tablero contrachapado, panel de fibrosilicato). Además, para un mismo espesor (paneles sándwich de 78 mm de espesor total), se obtienen mejores prestaciones en el tablero compuesto por tablero inerte y lana mineral (densidad=450 kg/m³), que el tablero compuesto por tablero contrachapado y lana mineral (densidad= 245 kg/m³).

5 CONOCIMIENTO CORRELACIÓN REACCIÓN-RESISTENCIA

En su génesis, el proyecto REFOC sería desarrollado a lo largo de tres periodos, pero durante el desarrollo de este segundo periodo, las investigaciones obtenidas arrojaron resultados que llevaron a AIDIMME a tomar la decisión de no llevar a cabo el tercer y último periodo. Sin embargo, se han conseguido avances en la investigación de la correlación entre los ensayos de reacción al fuego y de resistencia al fuego (expuestos en los anteriores apartados del presente entregable 5.1) y que han servido para la consecución de los hitos 3.1 y 4.1.

Para la consecución completa del hito 5.1 estaban previstos ensayos de resistencia al fuego a escala real mediante los cuales se pretendía obtener información y datos de ensayos para después compararlos con los datos obtenidos en las simulaciones, con el fin de corroborar las hipótesis mejoradas.

Tal y como se ha explicado en el apartado 4.1 anterior, la imposibilidad de realizar una simulación completa a los diferentes sistemas constructivos planteado, ha imposibilitado la consecución de un número aceptable de datos que, aunque han servido para comprobar la validez de las mejoras de la hipótesis, consideramos insuficientes para poder compararlos con ensayos de resistencia al fuego a escala real. Además, se ha desestimado la realización de los ensayos reales de resistencia al fuego, ya que no ofrecerían información relevante para la obtención de los hitos marcados, ya que en las simulaciones no se ha podido obtener información de la influencia de las juntas, cuando queda claro en la normativa vigente que éstas son puntos críticos a la hora de fabricar e instalar las soluciones constructivas con capacidades portante, de estanqueidad y de aislamiento.



Paquete de trabajo 8 – Difusión del proyecto

Vinculado al trabajo desarrollado en este PT8, se ha elaborado el **entregable 8.1 (E8.1)** que tiene por título: Difusión realizada en el año 2018-19, donde se detallan todas las acciones llevadas a cabo.

La difusión realizada se estructura del siguiente modo:

1. Medios de difusión

1.1. Web de AIDIMME – [Información del desarrollo del proyecto REFOC](#)

1.2. Newsletters y Blogs. Difusión del proyecto REFOC

[ACTUALIDAD AIDIMME](#)

[NOTICIAS HÁBITAT.](#)

2. Espacios y eventos de difusión

○ [Cartel sobre el proyecto en las instalaciones de AIDIMME](#)

○ [Proyección en TV permanente en hall AIDIMME](#)

○ [En feria HÁBITAT VALENCIA](#)

○ [En feria FIMMA-MADERALIA](#)

3. Redes Sociales

○ Facebook AIDIMME

<http://www.facebook.com/611045612382583/posts/1371772856309851>

<http://www.facebook.com/611045612382583/posts/1098581296962343>

○ Twitter AIDIMME

<https://twitter.com/AIDIMME/status/1143771225250025472>

<https://twitter.com/AIDIMME/status/1012575386268467201>



Paquete de trabajo 9 – Transferencia y promoción de resultados

Vinculado al trabajo desarrollado en este PT9, se ha elaborado el **entregable 9.1 (E9.1)** que tiene por título: **Hoja de ruta para la transferencia y promoción de los resultados**, donde se detallan todas las acciones llevadas a cabo.

En este paquete de trabajo se elaborará una hoja de ruta donde se consideran aspectos tales como:

- Análisis DAFO del mercado potencial.
- Tabla de resultados y usos.
- Modelos de negocio para la futura transferencia y promoción de resultados.
- Eventos y medios de difusión más adecuados para la transferencia y promoción de resultados.
- Líneas de investigación futura propias y en colaboración con las empresas valencianas.

Para evaluar el impacto del proyecto, se han llevado a cabo reuniones periódicas con las empresas colaboradoras con objeto de poder medir el grado de implantación de los resultados que se vayan obteniendo, disponiendo de una evaluación progresiva del impacto.

El análisis de dicha evaluación servirá para refinar el plan de promoción y transferencia de resultados con objeto de ampliar el impacto al resto de potenciales usuarios identificados.