



Software para Arquitectura,
Ingeniería y Construcción



CYPEFIRE FDS

MANUAL DE USO

Diseño de modelos complejos de edificaciones para la ejecución de simulaciones de la evolución de incendios mediante el estándar computacional de dinámica de fluidos FDS ("Fire Dynamics Simulator") desarrollado por el NIST ("National Institute of Standards and Technology", USA).





Índice

1	Conceptos básicos	3
1.1	Introducción	3
1.2	Configuración inicial e iniciar un proyecto.....	3
1.3	Interfaz de CYPEFIRE FDS.....	4
2	Modelo BIM	8
2.1	Bibliotecas.....	8
2.2	Modelo	10
3	Modelo FDS	11
3.1	Datos generales	11
3.2	Especies.....	16
3.3	Materiales	17
3.4	Superficies	22
3.5	Partículas	30
3.6	Reacciones	36
3.7	Modelos de dispositivos.....	40
3.8	Mallas	48
3.9	Zonas.....	49
3.10	Regiones iniciales.....	51
3.11	Obstrucciones	52
3.12	Agujeros	54
3.13	Respiraderos	55
3.14	Dispositivos.....	57
3.15	Controles.....	72
3.16	Secciones	75
4	Simulación	77
4.1	Análisis/Cálculo	77
4.2	Gráficas	79

1 Conceptos básicos

1.1 Introducción

Gracias por elegir CYPE y CYPEFIRE FDS. CYPEFIRE FDS es un programa creado para simular la evolución de incendios en modelos de edificios complejos utilizando el estándar computacional de dinámica de fluidos FDS (Fire Dynamics Simulator) desarrollado por NIST (National Institute of Standards and Technology, USA). Este sistema está integrado en el flujo de trabajo Open BIM a través del BIMserver.center utilizando el estándar IFC. CYPEFIRE FDS permite a los usuarios importar datos arquitectónicos de modelos BIM, definir los elementos del modelo para que puedan incorporarse al motor de cálculo y luego simular las condiciones de diseño establecidas por el usuario. El programa lleva a cabo las comprobaciones necesarias del modelo BIM para garantizar que el cálculo se realice correctamente.

SmokeView posee las herramientas para poder visualizar los resultados del análisis controlar los parámetros definidos en la simulación. SmokeView incluye herramientas para visualizar variables como presión, flujo, temperatura, etc. La complejidad de una simulación dinámica de incendios en un edificio y los múltiples factores involucrados se traducen en que los requisitos de hardware y software del ordenador donde se calculará esta simulación son más altos de lo que sería necesario para trabajar normalmente con otros programas de CYPE.

1.2 Configuración inicial e iniciar un proyecto

Esta sección del manual mostrará cómo iniciar un proyecto y comenzar a usar CYPEFIRE FDS. Comience por descargar la última versión de CYPEFIRE FDS desde BIMserver.center (https://bimserver.center/en/store/cypefire_fds), para ello sólo hay que tener una cuenta de BIMserver.center y los modelos BIM importados desde IFC Builder deben ser exportados con la versión 2019.e o posteriores.

El primer paso es abrir CYPEFIRE FDS. A continuación, conéctese a BIMserver.center en el extremo derecho e inicie sesión si es necesario siguiendo los pasos indicados. Una vez que haya iniciado sesión ya puede comenzar a trabajar con CYPEFIRE FDS.

Para continuar trabajando en una obra previa, seleccione **Administrador de archivos** y localice el proyecto deseado. De lo contrario, para iniciar un nuevo proyecto, seleccione

Nuevo..., elija dónde se guardará el archivo y dele un nombre y una descripción al archivo. Después aparecerá una pantalla de BIMserver.center, aquí es donde se puede crear un nuevo proyecto dentro del BIMserver.center seleccionando **Crear nuevo proyecto** o conectar esta nueva obra con un proyecto existente en BIMserver.center, para ello haga clic en **Seleccionar proyecto**, aparecerá una lista con todos sus proyectos, seleccione el apropiado y haga clic en aceptar.

El programa cargará el proyecto seleccionado y cualquier archivo asociado en el proyecto. A continuación, puede seleccionar los archivos que desea importar para la simulación además del modelo arquitectónico, así como la información de los rociadores de CYPEFIRE Hydraulic Systems. Al hacer clic en aceptar, se cargará la configuración seleccionada y se abrirá la interfaz principal del programa con su modelo cargado.

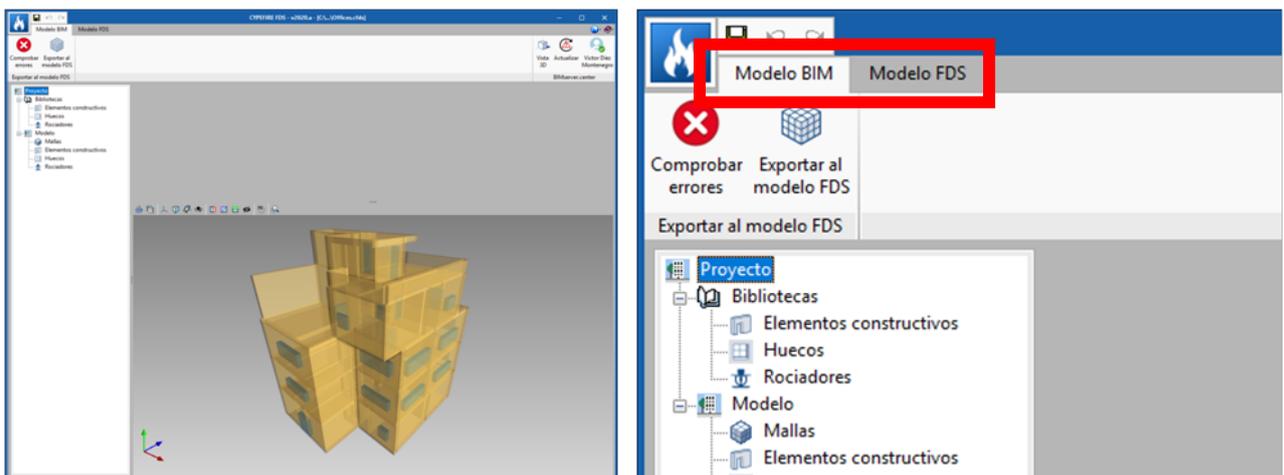


Fig. 1. Interfaz de CYPEFIRE FDS

1.3 Interfaz de CYPEFIRE FDS

La interfaz de CYPEFIRE FDS consta de dos áreas principales separadas por pestañas en la parte superior de la ventana. Estas pestañas son: *Modelo BIM* y *Modelo FDS*.

En la pestaña del modelo BIM se debe configurar las opciones necesarias para exportar la información de la pestaña *modelo BIM* a la pestaña *modelo FDS*. En la pestaña del modelo FDS se configuran las características de la simulación de incendio. Ambas pestañas se dividen en 4 secciones principales: barra de herramientas principal (1), ventana **Selección** (2), árbol de proyectos (3) y ventana del modelo 3D (4). Cada sección está resaltada en las imágenes de abajo.

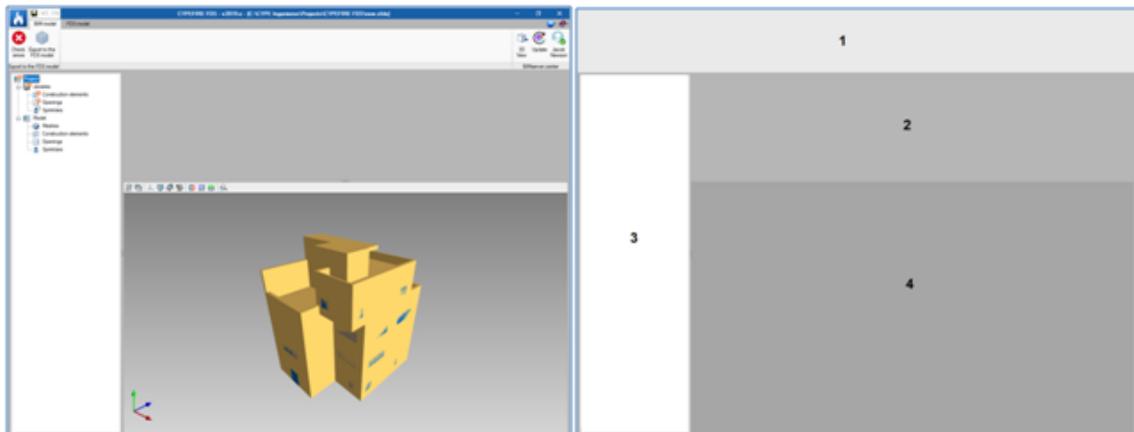


Fig. 2. Secciones de la interfaz

1.3.1 *Barra de herramientas principal*

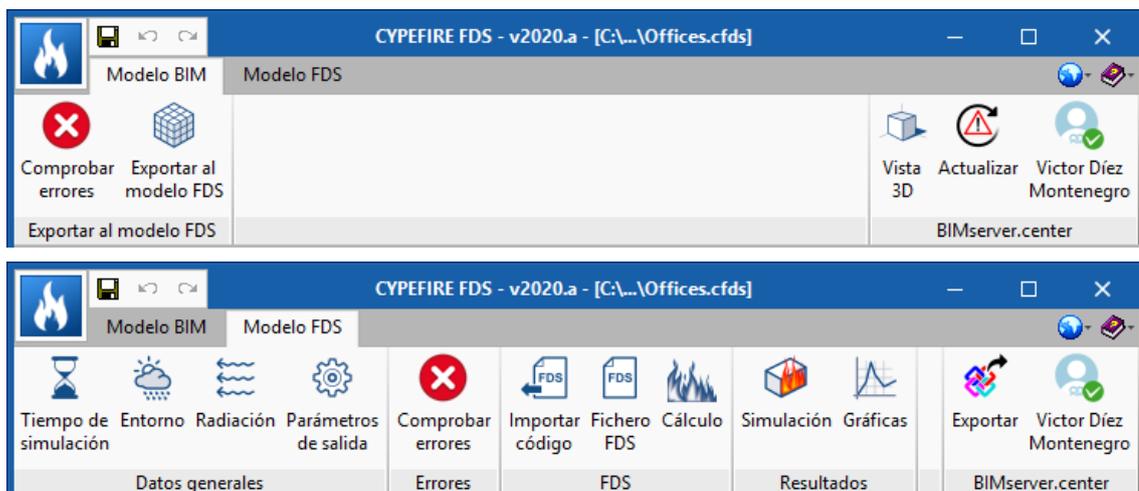


Fig. 3. Opciones de la barra de herramientas de las solapas "Modelo BIM" y "Modelo FDS"

La barra de herramientas principal contiene las herramientas para controlar la configuración de la simulación. En la pestaña del modelo BIM, esto consiste en verificar el modelo en busca de errores y exportar el modelo al modelo FDS. La pestaña del modelo FDS contiene herramientas para alterar las condiciones de la simulación, realizar el análisis, acceder a la simulación, etc.

1.3.2 *Panel de selección*

Referencia	Biblioteca
WL1	Screed
WL2	Floor slab
WL3	Floor slab
WL4	External floor slab
WL5	Floor slab
WL6	Floor slab
WL7	Concrete roof 19
WL8	Concrete roof 19

Fig. 4. Panel de selección

El panel de selección se usa para modificar/introducir datos para el elemento seleccionado en el árbol del proyecto. Es posible editar elementos en la lista, agregar nuevos elementos, eliminar elementos o reordenar elementos usando las flechas azules.

1.3.3 *Árbol del proyecto*

El árbol de proyecto se divide en dos listas en las dos pestañas de *Modelo BIM* y *Modelo FDS*: Proyecto y Modelo. Cada uno de estos se explicará con más detalle en las secciones correspondientes del manual a continuación.

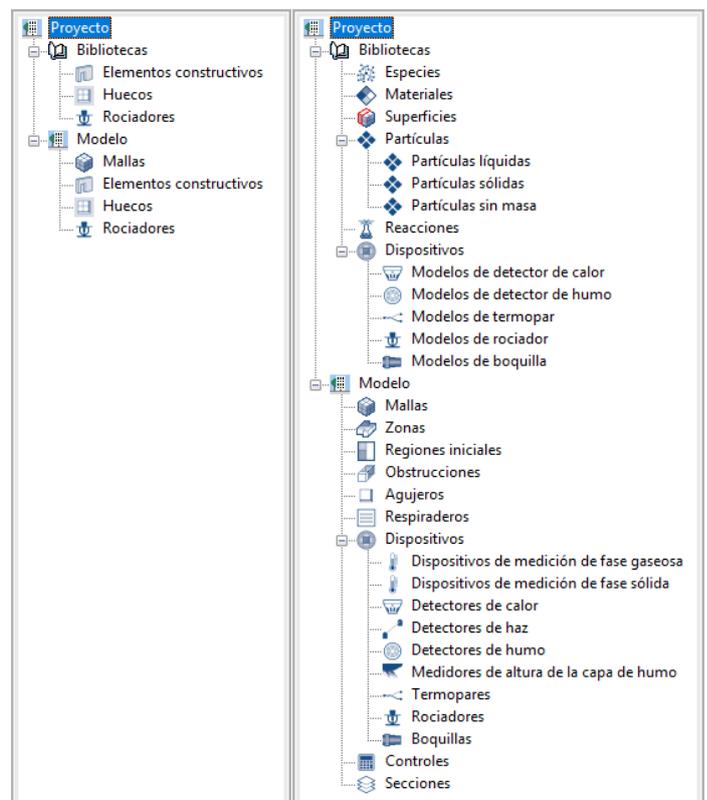


Fig. 5. Árbol del proyecto ("Modelo BIM" a la izquierda y "Modelo FDS" a la derecha).

1.3.4 *Modelo 3D*

La ventana del modelo 3D le permite visualizar el modelo en su estado actual. Es posible refrescar el modelo para actualizar cualquier cambio que se haya realizado, filtrar las capas, modificar la orientación y usar cortes para realizar secciones. Para navegar por la vista 3D, los controles son muy similares a otros programas CYPE. Para desplazar el modelo, mantenga presionada la rueda del ratón. Para rotar el modelo, mantenga presionado el botón izquierdo o derecho del ratón. Para hacer zoom, simplemente gire la rueda del ratón.



Fig. 6. Vista 3D del modelo

2 Modelo BIM

2.1 Bibliotecas

En este apartado del árbol se encuentran las bibliotecas donde son definidas las características principales de los elementos importados del modelo BIM: Elementos constructivos, Huecos y Rociadores.

2.1.1 *Elementos constructivos*

Los elementos constructivos se mostrarán en esta parte del árbol del proyecto, en caso de haber vinculado la obra con un modelo BIM.

Al acceder a ella puede observarse en el panel de selección todas las tipologías de elementos constructivos que existen (fachadas, tabiques interiores, forjados, defensas, etc.). Estas deben de ser revisadas antes de exportar hacia la pestaña *Modelo FDS*. La exclamación naranja en el árbol indica que todavía existen elementos por definir en las bibliotecas.

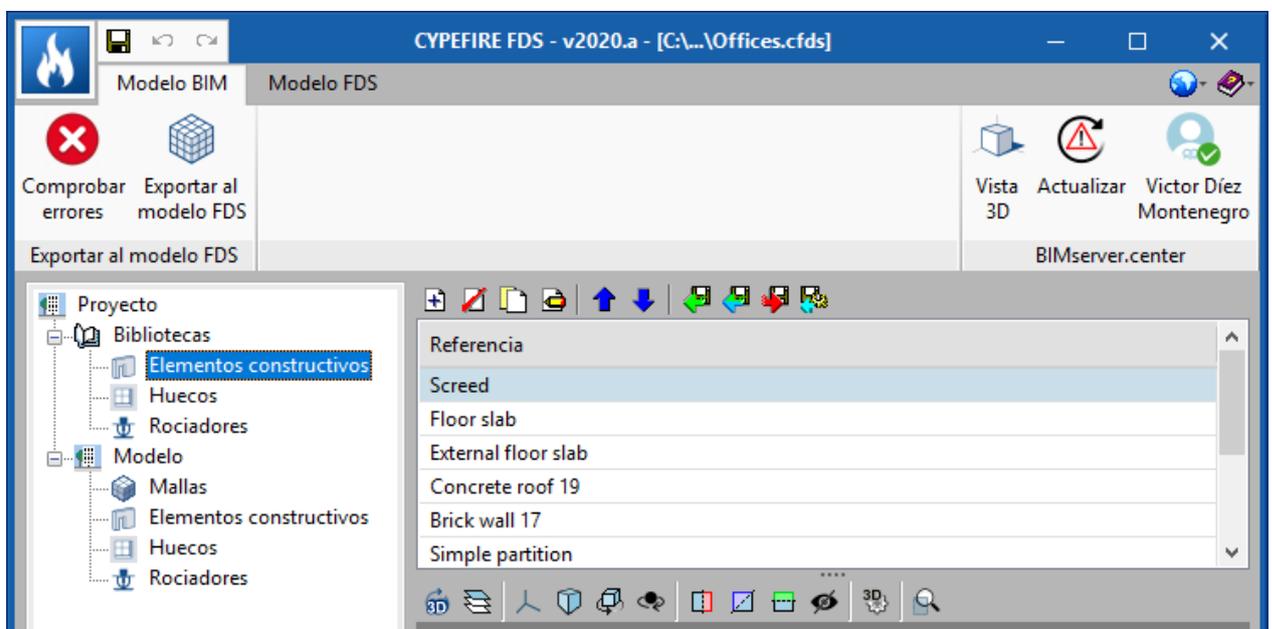


Fig. 6. Elementos constructivos

Para definir los elementos constructivos tan solo hay que introducir las capas de las que está formado el elemento definiendo:

- Referencia de la capa (Se utilizará como la descripción de la capa en la pestaña *Modelo FDS*)
- ID de la capa (Se utilizará para describir a un material en concreto de la capa en la pestaña *Modelo FDS*)
- Espesor de la capa

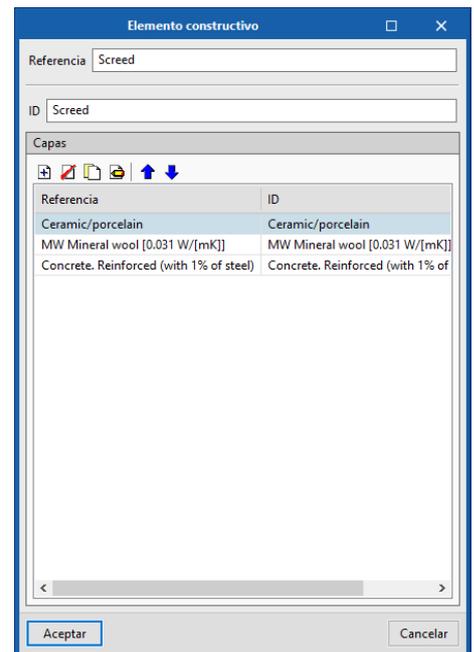


Fig. 7. Definición de un elemento constructivo

2.1.2 Huecos

Los huecos son los elementos que representan tanto las puertas como los huecos acristalados y su definición similar a la de los elementos constructivos pero además habrá que definir la temperatura de rotura del elemento, al alcanzar esta temperatura en alguna de las superficies del hueco, éste desaparece de la simulación.

Al igual que los elementos constructivos una exclamación naranja marcará que existen huecos cuyas capas no han sido definidas.

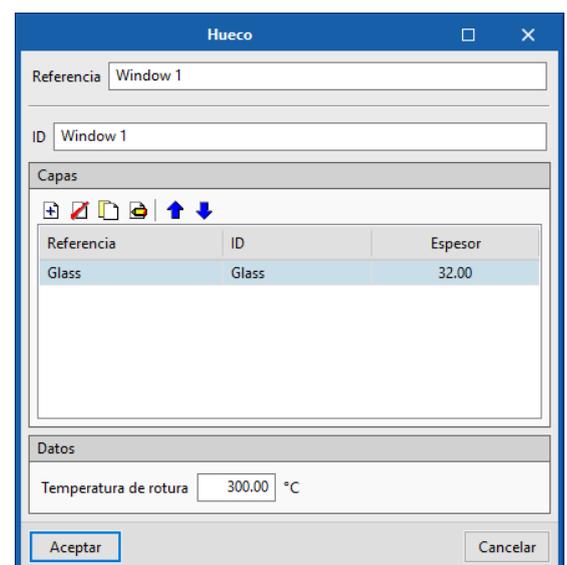


Fig. 8. Definición de un hueco

2.1.3 *Rociadores*

Si en el modelo BIM existe la información de los rociadores (información que puede ser exportada desde CYPEFIRE Hydraulic Systems), aquí aparecerán todas las tipologías de rociadores presentes.

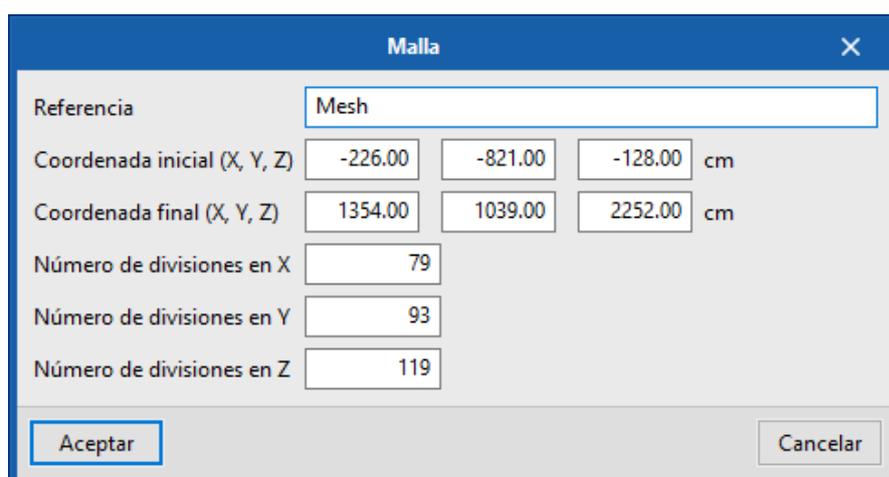
La única información en este apartado es la referencia y la ID del rociador, cuyos datos principales serán definidos en la pestaña *Modelo FDS*.

2.2 Modelo

2.2.1 *Mallas*

Las mallas constituyen la parte del modelo en la que se realiza la simulación, por lo que todos los objetos que intervengan en el cálculo deben estar en el interior de una malla. En la simulación puede introducirse más de una malla.

Cada malla tiene definida su posición geométrica por 3 pares de coordenadas (x,y,z) y dividida en celdas uniformes. El tamaño de las celdas es recomendable que tenga el mismo tamaño en las tres direcciones. Por defecto CYPEFIRE FDS creará una malla que contenga todo el modelo con el número de divisiones necesarias en (x,y,z) para obtener un tamaño de celda de 0,20 x 0,20 x 0,20 m.



Malla			
Referencia	Mesh		
Coordenada inicial (X, Y, Z)	-226.00	-821.00	-128.00 cm
Coordenada final (X, Y, Z)	1354.00	1039.00	2252.00 cm
Número de divisiones en X	79		
Número de divisiones en Y	93		
Número de divisiones en Z	119		
Aceptar		Cancelar	

Fig. 9. Definición de una malla

3 Modelo FDS

3.1 Datos generales

3.1.1 *Tiempo de simulación*

CYPEFIRE FDS permite configurar los siguientes parámetros relacionados con el tiempo de simulación:

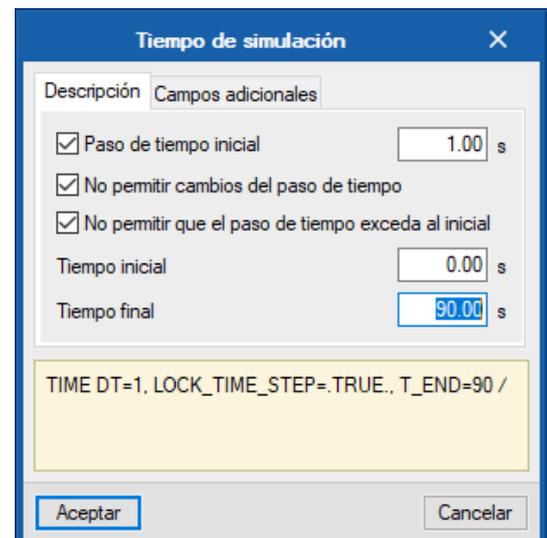


Fig. 10. Configuración del tiempo de simulación

- **Tiempo inicial.** Permite indicar el momento en el que se comienzan a escribir los resultados de la simulación en los ficheros de salida del motor de cálculo FDS.
- **Tiempo final.** Indica la duración total de la simulación. Si el valor es 0, únicamente se generará la disposición inicial del modelo, lo que permite comprobar rápidamente la geometría en el visor Smokeview.
- **Paso de tiempo inicial.** Es posible indicar el paso de tiempo inicial de la simulación. Por defecto, este valor se calcula de forma automática dividiendo el tamaño de una celda de la malla por la velocidad característica del flujo. Durante el cálculo, el paso de tiempo es ajustado para que se cumpla la condición de CFL (Courant, Friedrichs, Lewy). El motor de cálculo FDS emplea la siguiente fórmula para obtener el valor del paso de tiempo:

$$DT = \frac{5(\delta_x \delta_y \delta_z)^{\frac{1}{3}}}{\sqrt{gH}}$$

Donde:

DT : Paso de tiempo [s]

δ_x : Dimensión en X de la celda de malla más pequeña

δ_y : Dimensión en Y de la celda de malla más pequeña

δ_z : Dimensión en Z de la celda de malla más pequeña

g : Aceleración de la gravedad

H : Altura del dominio computacional

- **No permitir cambios del paso de tiempo.** Al marcar esta opción se evita que el motor de cálculo FDS ajuste el paso de tiempo automáticamente.
- **No permitir que el paso de tiempo exceda al inicial.** Por defecto, el paso de tiempo nunca puede superar el valor inicial. Para permitir que esto suceda es posible desmarcar esta opción.

3.1.2 *Entorno*

CYPEFIRE FDS permite configurar los siguientes parámetros relacionados con el ambiente en el que se desarrolla simulación:

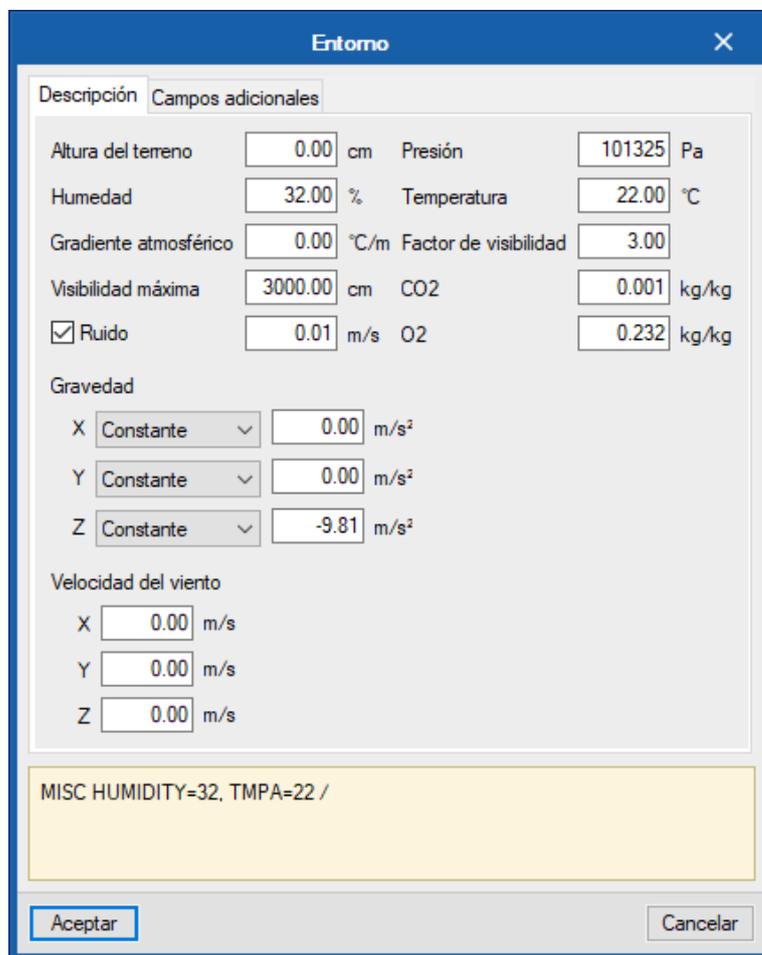


Fig. 11. Configuración del entorno

- **Altura del terreno.** Indica el valor de la altura sobre el nivel del suelo en la simulación.
- **Humedad.** Indica el valor de la humedad relativa del vapor de agua que se encuentra en el ambiente.

- **Gradiente atmosférico.** Indica la variación de la temperatura ambiente en función de la altura. Un valor negativo indica que la temperatura desciende con la altura.
- **Visibilidad máxima.** Indica el valor máximo de visibilidad a través del humo que puede determinar el motor de cálculo FDS. La necesidad de establecer este valor se debe a la imposibilidad, por parte de FDS, de reportar un valor infinito de visibilidad.
- **Ruido.** Al activar esta opción, el motor de cálculo FDS inicializa el campo de flujo con una cantidad muy pequeña de "ruido" para evitar el desarrollo de un flujo perfectamente simétrico cuando el límite y las condiciones iniciales son perfectamente simétricas.
- **Presión.** Indica la presión ambiente al nivel del suelo.
- **Temperatura.** Indica la temperatura al comienzo de la simulación.
- **Factor de visibilidad.**
- **CO2.** Fracción de masa de dióxido de carbono que se encuentra en el ambiente.
- **O2.** Fracción de masa de oxígeno que se encuentra en el ambiente.
- **Gravedad.** Indica las tres componentes de la gravedad. El valor de las componentes de la gravedad puede ser constante o en función del tiempo o la posición.
- **Velocidad del viento.** Indica la velocidad del viento en cada dirección al comienzo de la simulación.

3.1.3 *Radiación*

Es posible configurar los parámetros empleados para llevar a cabo el cálculo de la ecuación de transmisión de calor por radiación. También se puede desactivar el cálculo de radiación, esto ahorra aproximadamente un 20% de tiempo de CPU.

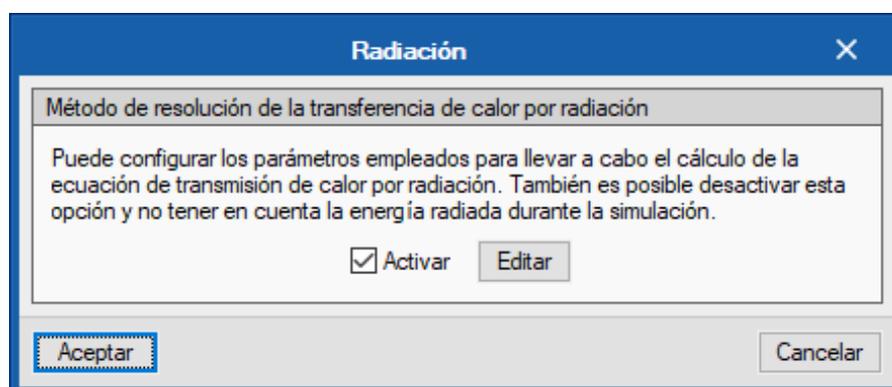
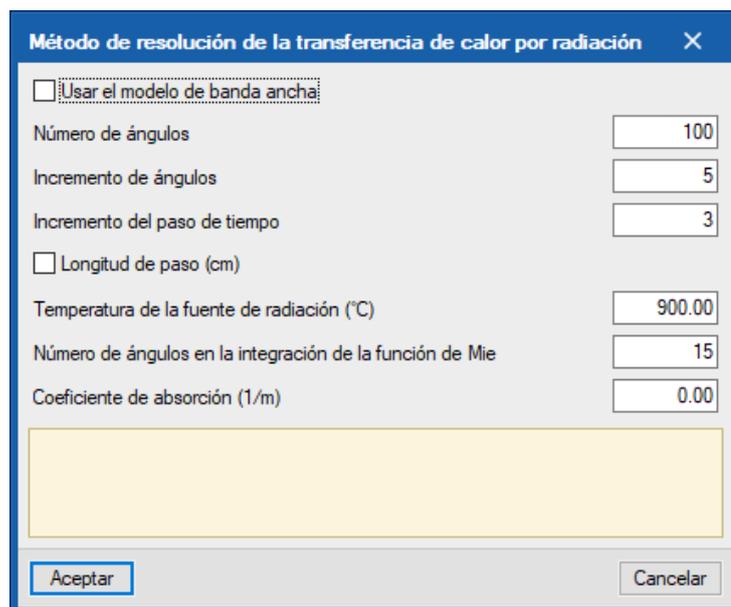


Fig. 12. Configuración de la transmisión de calor por radiación

CYPEFIRE FDS permite configurar los siguientes parámetros relacionados con el cálculo de radiación:

- **Usar el modelo de banda ancha.** Al activarse el calculador de radiación utilizará el modelo de banda ancha en lugar del modelo de gas gris que se emplea por defecto.
- **Número de ángulos.**
- **Incremento de ángulos.** Indica el incremento sobre el cual se deben actualizar los ángulos.
- **Incremento de tiempo de paso.** Indica cada cuantos tiempos de paso FDS debe llamar al calculador de transmisión de calor por radiación.
- **Longitud de paso.** Se emplea para determinar el rango de longitudes de onda sobre los cuales se calcularán los coeficientes de absorción efectivos. Si no se define manualmente, FDS tomará por defecto un valor de longitud de paso igual a cinco veces el tamaño de una celda de la malla.
- **Temperatura de la fuente de radiación.** Indica el valor de la temperatura asumida para la fuente de radiación. Se utiliza en la ponderación espectral, durante el cálculo de las secciones cruzadas medias de dispersión y absorción.
- **Número de ángulos en la integración de la función de Mie.** Indica el número de ángulos empleados en la integración numérica de la función de Mie. Al incrementar este valor se obtendrá una mayor precisión en las propiedades radiativas de las partículas de agua.
- **Coefficiente de absorción constante.** Al activar esta opción es posible establecer un coeficiente de absorción constante que se empleará en simulaciones sin combustión ni especies que irradian.



Método de resolución de la transferencia de calor por radiación	
<input type="checkbox"/> Usar el modelo de banda ancha	
Número de ángulos	100
Incremento de ángulos	5
Incremento del paso de tiempo	3
<input type="checkbox"/> Longitud de paso (cm)	
Temperatura de la fuente de radiación (°C)	900.00
Número de ángulos en la integración de la función de Mie	15
Coeficiente de absorción (1/m)	0.00
Aceptar	Cancelar

Fig. 13. Parámetros del método de resolución de la transferencia de calor por radiación

3.1.4 *Parámetros de salida*

CYPEFIRE FDS permite configurar los siguientes parámetros relacionados con los ficheros de salida de la simulación:

- **Número de descargas de datos en el archivo de salida, en cada cálculo.**
- **Número máximo de partículas lagrangianas.** Indica el número máximo de partículas lagrangianas que pueden ser incluidas simultáneamente en una malla.
- **Suprimir diagnóstico.** Al activar esta opción, se reducirá el nivel de detalle de la información sobre el estado de la simulación que se muestra en el archivo de salida con extensión “.out”.
- **Generar archivo de masas de las especies gaseosas.** Al activar esta opción, se creará un listado de salida con la masa total de todas las especies en función del tiempo. Se debe tener en cuenta que realizar este cálculo aumentará considerablemente el tiempo necesario para realizar la simulación.
- **Generar animación del humo y el fuego.** Al activar esta opción, se producirá una animación del humo y el fuego que será mostrada durante la visualización de la simulación en Smokeview.
- **Archivo de error de velocidad.** Al activar esta opción, se creará un archivo con el máximo error asociado a la componente normal de la velocidad en los límites sólidos o interpolados.
- **Archivo de errores.** Al activar esta opción, se generará un archivo de salida con extensión “.notready” que se eliminará si la simulación se completa con éxito.
- **Eliminar periódicamente los archivos temporales de salida.** Al activar esta opción, FDS limpiará periódicamente los archivos temporales de salida y escribirá los datos en los respectivos ficheros de resultados. De esta forma se puede visualizar fácilmente el modelo en Smokeview mientras se está realizando la simulación.
- **Precisión del archivo de salida.** Indica el número de dígitos significativos de la mantisa y el exponente en los datos numéricos introducidos en FDS.
- **Intervalos de escritura de datos en el archivo de salida.**
- **Limitar el número máximo de columnas.** Al activar esta opción, se limitará el máximo número de columnas de los archivos con extensión .csv donde se muestran los datos de los dispositivos (DEVC) y controladores (CTRL)

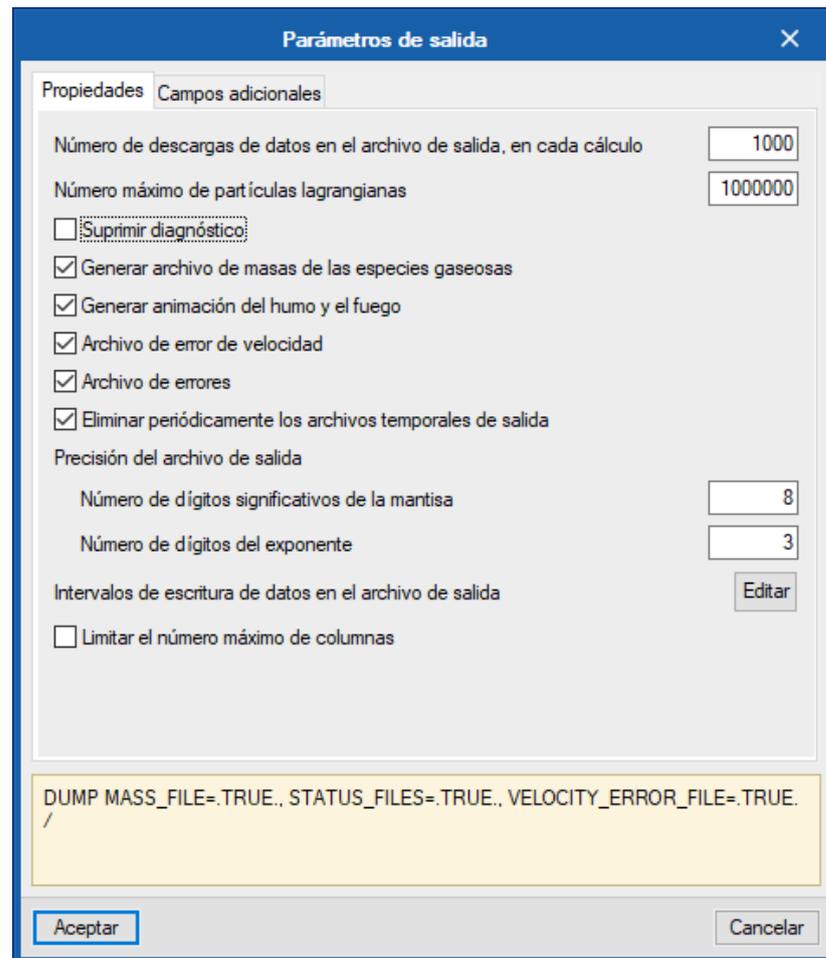


Fig. 14. Parámetros de salida

3.2 Especies

Las especies gaseosas pueden emplearse como especies reactivas del modelo de combustión o como especies no reactivas en la simulación del flujo de aire.

Es posible indicar la concentración inicial de una especie predefinida en la simulación a través del valor de fracción de masa inicial del gas, en el apartado de especies del modelo FDS. El motor de cálculo FDS crea por defecto una especie Aire que se define como un compuesto de N_2 , O_2 , CO_2 y H_2O . >Esta especie rellena el espacio del entorno inicial de la simulación que no ha sido ocupado por el resto de especies.

Las especies se pueden introducir en la simulación a través de los parámetros de emisión de las superficies.

Referencia	Fracción de masa inicial (kg/kg)	Comando FDS
ACETONE	0.000	&SPEC ID='ACETONE' /
ACETYLENE	0.000	&SPEC ID='ACETYLENE' /
ACROLEIN	0.000	&SPEC ID='ACROLEIN' /
AMMONIA	0.000	&SPEC ID='AMMONIA' /
ARGON	0.000	&SPEC ID='ARGON' /
BENZENE	0.000	&SPEC ID='BENZENE' /
BUTANE	0.000	&SPEC ID='BUTANE' /
CARBON	0.000	&SPEC ID='CARBON' /
CARBON DIOXIDE	0.000	&SPEC ID='CARBON DIOXIDE' /
CARBON MONOXIDE	0.000	&SPEC ID='CARBON MONOXIDE' /
CHLORINE	0.000	&SPEC ID='CHLORINE' /
DODECANE	0.000	&SPEC ID='DODECANE' /
ETHANE	0.000	&SPEC ID='ETHANE' /
ETHANOL	0.000	&SPEC ID='ETHANOL' /
ETHYLENE	0.000	&SPEC ID='ETHYLENE' /

Fig. 15. Ventana de selección de especies

3.3 Materiales

Los objetos sólidos que componen el modelo geométrico a menudo se constituyen a partir de varias capas de materiales diferentes. Por tanto, para llevar a cabo la simulación, se deben especificar las propiedades térmicas de cada uno de estos materiales. Del mismo modo, también es posible precisar las características de los materiales líquidos que se encuentran en el escenario, los cuales son empleados para representar tipos de combustible.

3.3.1 *Propiedades*

Dentro de la pestaña Propiedades del panel Materiales, es posible especificar los siguientes parámetros relacionados con las características térmicas del material:

- **Conductividad.** Puede ser definida en función de la temperatura mediante una función de rampa.
- **Densidad.**
- **Calor específico.** Puede ser definido en función de la temperatura mediante una función de rampa.
- **Emisividad.** Indica la fracción de radiación térmica emitida por el material. Su valor se ha de encontrar entre 0 y 1.

- **Coefficiente de absorción.** Indica la profundidad sobre la que el material puede absorber la radiación térmica.

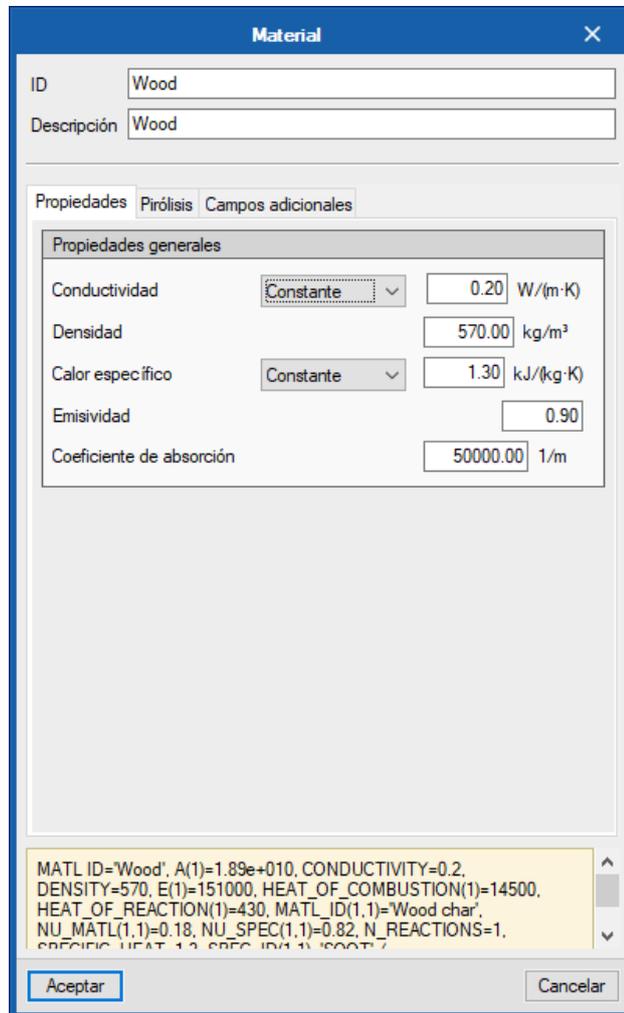


Fig. 16. Material, propiedades

3.3.2 *Pirólisis*

El modelo de pirólisis del material describe las reacciones que ocurren durante su proceso de combustión y los productos que son generados.

Las propiedades de pirólisis concernientes a los materiales sólidos y líquidos son diferentes. En consecuencia, se debe definir el tipo de material antes de especificar sus características.

3.3.2.1 *Materiales sólidos*

Los materiales sólidos pueden tener varias reacciones químicas asociadas sin necesidad de que éstas se produzcan a la misma temperatura.

La pestaña Pirolisis de CYPEFIRE FDS permite configurar las siguientes opciones generales del material:

- **Permitir la contracción del material.** Al activar esta opción, para conservar la masa, el espesor del material se reducirá tras un proceso de reacción en el que los productos cuenten con una densidad mayor que la del material original.
- **Permitir la expansión del material.** Al activar esta opción, para conservar la masa, el espesor del material aumentará tras un proceso de reacción en el que los productos cuenten con una densidad menor que la del material original.

Al añadir una reacción al material se deben especificar sus propiedades cinéticas y sus productos.

La ecuación que emplea FDS para determinar la velocidad de la reacción es la siguiente:

$$r_{ij} = A_{ij} Y_{s,i}^{n_{s,ij}} \exp\left(-\frac{E_{ij}}{RT_s}\right) X_{O_2}^{n_{O_2,ij}}; \quad Y_{s,i} = \left(\frac{\rho_{s,i}}{\rho_s(0)}\right)$$

Donde:

r_{ij} : Velocidad de la reacción a la temperatura T_s

$\rho_{s,i}$: Densidad del material [kg/m^3]

$\rho_s(0)$: Densidad inicial de la capa [kg/m^3]

$n_{s,ij}$: Orden de la reacción

A_{ij} : Factor pre-exponencial [s^{-1}]

E_{ij} : Energía de activación [kJ/kmol]

X_{O_2} : Fracción local de volumen de oxígeno

R : Constante universal de los gases ideales ($8,3143 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$)

El usuario podrá elegir entre introducir manualmente los valores del factor pre-exponencial y la energía de activación o calcularlos a partir de la siguiente ecuación:

$$E_{i,j} = \frac{er_{p,i}}{Y_{s,i}(0)} \frac{RT_{p,i}^2}{\dot{T}}; \quad A_{i,j} = \frac{er_{p,i}}{Y_{s,i}(0)} e^{E/RT_{p,i}}$$

Donde:

$T_{p,i}$: Temperatura de referencia [$^{\circ}\text{C}$]

$r_{p,i}/Y_{s,i}(0)$: Velocidad de referencia [s^{-1}]

\dot{T} : Velocidad de calentamiento [$^{\circ}\text{C}/\text{min}$]

En ambos casos se debe especificar el valor del orden de la reacción, n_s .

En los casos en los que no esté disponible el valor de la temperatura de referencia, ésta se puede aproximar a partir del rango de pirólisis:

$$\frac{r_{p,i}}{Y_{s,i}(0)} = \frac{2\dot{T}}{\Delta T} (1 - v_{s,i})$$

Donde:

ΔT : Rango de pirólisis [°C]

$v_{s,i}$: Producción de residuo sólido

Para terminar con los parámetros cinéticos, el programa permite modificar la ecuación para permitir definir modelos de pirólisis que no siguen la función de Arrhenius.

$$r_{ij} = A_{ij} Y_{s,i}^{n_{s,ij}} \exp\left(-\frac{E_{ij}}{RT_s}\right) \max[0, S_{thr,ij}(T_s - T_{thr,ij})]^{n_{t,ij}}$$

Donde:

$T_{thr,ij}$: Temperatura umbral [°C]

En este caso será necesario introducir los valores de la temperatura umbral, T_{thr} , y del exponente de la reacción, n_t .

Una vez delimitados los parámetros cinéticos que gobiernan la reacción se pueden precisar los productos generados tras la combustión y su cuantía en la pestaña Productos. Éstos pueden ser tanto especies químicas

como otros materiales definidos previamente en el proyecto.

Por último, es posible especificar los valores del calor de la reacción, el cual indica la cantidad de energía por unidad de masa del reactivo que es consumida en la reacción, y el calor de combustión que representa la cantidad de energía emitida por unidad de masa del material al ser sometido a una combustión completa en presencia de oxígeno.

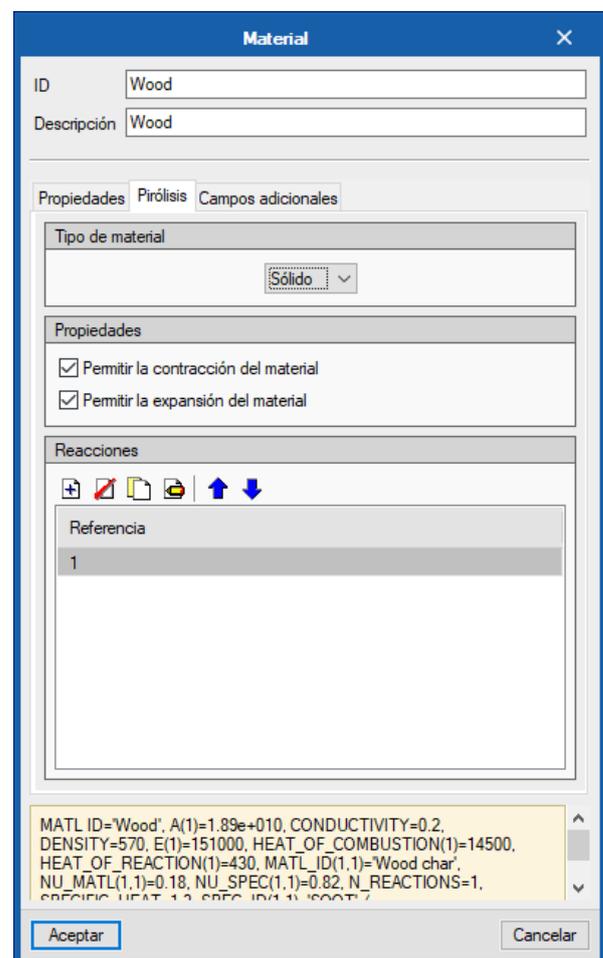


Fig. 17. Material sólido, pirólisis

Se debe tener en cuenta que el motor de cálculo FDS permite a cada material sólido tener un máximo de 10 reacciones asociadas.

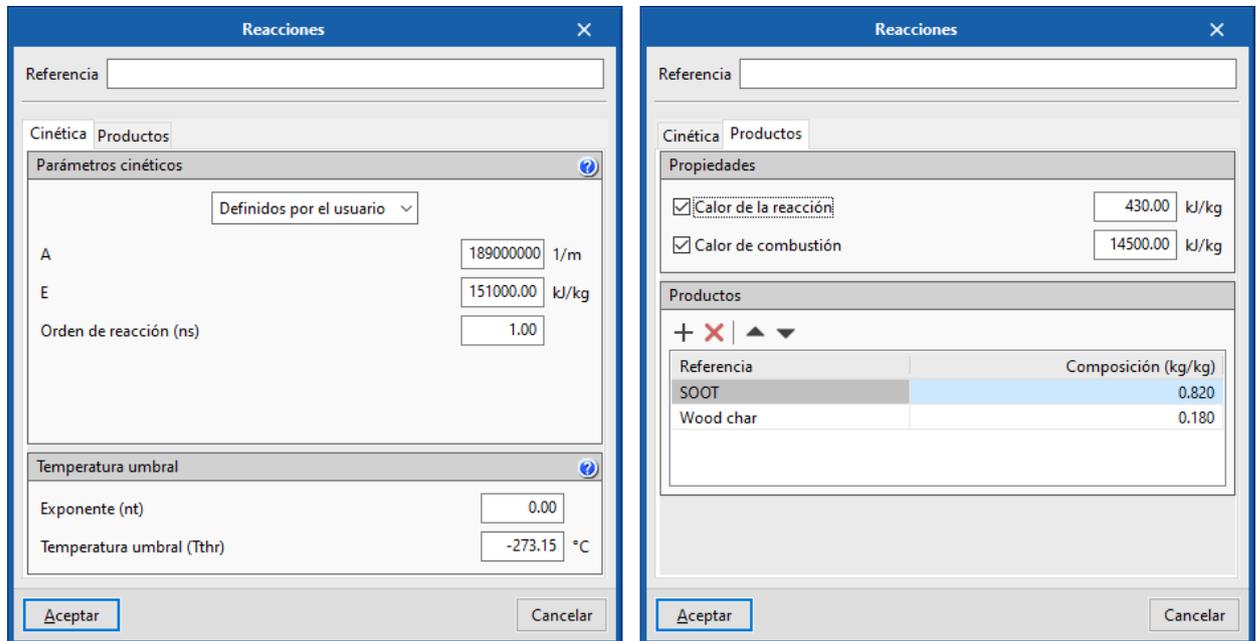


Fig. 18. Reacción, parámetros cinéticos y productos

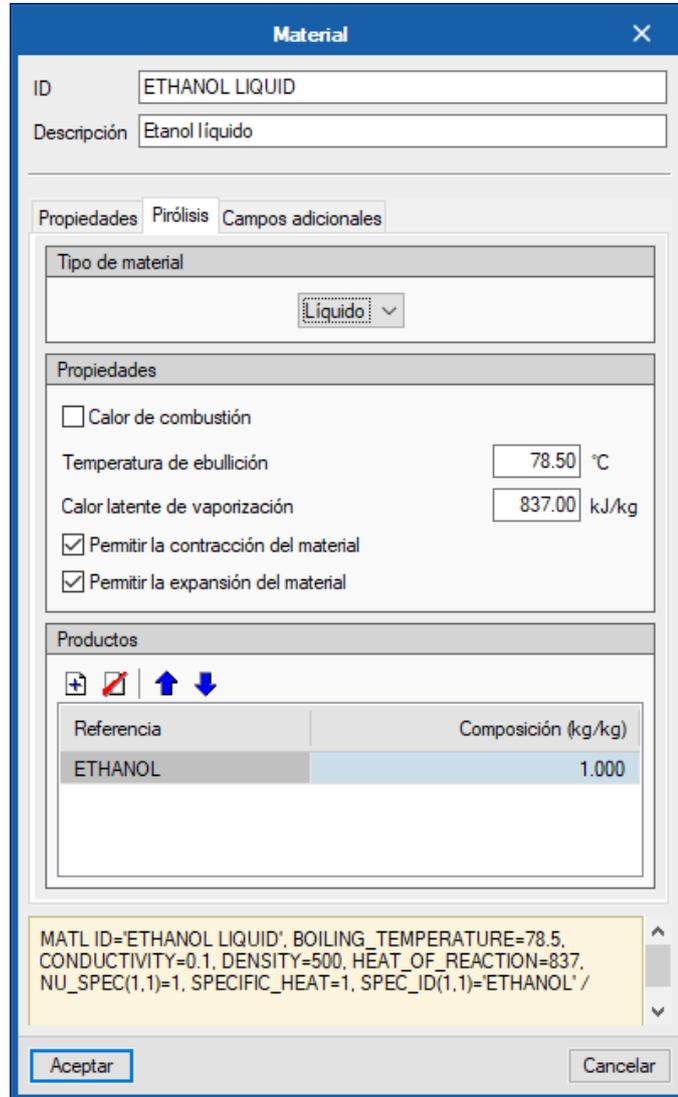
3.3.2.2 *Materiales líquidos*

A diferencia de los materiales sólidos, los combustibles líquidos únicamente pueden poseer una reacción asociada.

Es posible especificar las siguientes propiedades generales:

- **Calor de combustión.** Es la cantidad de energía emitida por unidad de masa del material al ser sometido a una combustión completa en presencia de oxígeno.
- **Temperatura de ebullición.** Temperatura en la cual la presión del vapor del líquido iguala a la presión del vapor del medio en el que se encuentra.
- **Calor latente de vaporización.** Energía requerida por el material para cambiar de fase líquida a gaseosa.
- **Permitir la contracción del material.** Al activar esta opción, para conservar la masa, el espesor del material se reducirá tras un proceso de reacción en el que los productos cuenten con una densidad mayor que la del material original.
- **Permitir la expansión del material.** Al activar esta opción, para conservar la masa, el espesor del material aumentará tras un proceso de reacción en el que los productos cuenten con una densidad menor que la del material original.

En cuanto a los productos generados por la reacción pueden ser tanto especies como otros materiales, del mismo modo que en las reacciones de los materiales sólidos.



Material

ID: ETHANOL LIQUID
 Descripción: Etanol líquido

Propiedades | Pirólisis | Campos adicionales

Tipo de material: Líquido

Propiedades:

- Calor de combustión
- Temperatura de ebullición: 78.50 °C
- Calor latente de vaporización: 837.00 kJ/kg
- Permitir la contracción del material
- Permitir la expansión del material

Productos:

Referencia	Composición (kg/kg)
ETHANOL	1.000

MATL ID='ETHANOL LIQUID', BOILING_TEMPERATURE=78.5, CONDUCTIVITY=0.1, DENSITY=500, HEAT_OF_REACTION=837, NU_SPEC(1,1)=1, SPECIFIC_HEAT=1, SPEC_ID(1,1)='ETHANOL' /

Aceptar Cancelar

Fig. 19. Material líquido, pirólisis

3.4 Superficies

Las superficies se emplean con el propósito de poder especificar las condiciones de contorno de los diferentes elementos sólidos o aberturas situados en el interior del dominio computacional.

Las superficies en CYPEFIRE FDS deben poseer una referencia única y un color. Además, es posible indicar si es adiabática o, en caso contrario, especificar todas las propiedades que

definen su comportamiento. Para agilizar esta tarea, el **panel Superficie** se encuentra estructurado en base a las siguientes pestañas:

- Propiedades generales
- Propiedades térmicas
- Pirólisis
- Emisión
- Campos adicionales

3.4.1 *Superficies por defecto*

Existen ciertas superficies predefinidas dentro del motor de cálculo FDS, las cuales poseen unas características particulares. En consecuencia, al comenzar un nuevo proyecto en CYPEFIRE FDS estas superficies ya se encontraran especificadas y no será posible eliminarlas.

- **INERT.** Representa un muro inerte a temperatura ambiente y es la condición de contorno por defecto para todas las superficies sólidas.
- **OPEN.** Se emplea únicamente para indicar que existe una abertura al exterior en los límites de una malla.
- **MIRROR.** Representa un plano de simetría. Es una superficie sin flujo propio, que permite un desplazamiento libre e invierte el flujo.
- **PERIODIC.** Este tipo de superficie se emplea para establecer límites periódicos.

Las superficies de tipo OPEN, MIRROR y PERIODIC únicamente es posible asignarlas a entidades de tipo VENT (Respiraderos) y éstas solo se pueden ubicar en los límites exteriores de una malla.

3.4.2 *Propiedades generales*

Dentro de este grupo de parámetros se encuentran las características que definen el comportamiento general de la superficie.

En primer lugar, es posible indicar la geometría de la superficie. Los objetos sólidos introducidos en FDS son ajustados a la geometría rectilínea de la malla; en consecuencia, todas las entidades físicas son representadas como "cajas". La geometría de la superficie se

puede emplear para describir las características térmicas de objetos esféricos o cilíndricos en las obstrucciones donde se aplica. Además, en caso de emplear la superficie como partícula, se deberán definir las diferentes dimensiones de la geometría en función de su tipo. Las clases de geometría disponibles en CYPEFIRE FDS son:

- Cartesiana
- Esférica
- Cilíndrica

CYPEFIRE FDS también permite indicar al motor de cálculo que una superficie se emplea como camino de escape entre dos zonas de presión. Al activar esta opción se deberá indicar las dos zonas de presión, definidas previamente, a las que se hace referencia.

Las superficies que componen los objetos sólidos pueden estar formadas por varias capas y éstas, a su vez, pueden componerse de varios materiales. Al añadir una nueva capa a la superficie, además de enumerar los materiales que la conforman, se debe establecer un valor para su espesor y temperatura.

Una vez definidas las capas, CYPEFIRE FDS incluye la opción Separación de capas la cual permite especificar el número de capas que intervienen en la expulsión de vapor de combustible hacia el exterior de la superficie. Por defecto, la separación de capas es 0,5 veces el número de capas para superficies con reverso expuesto, e igual al número de capas para el resto.

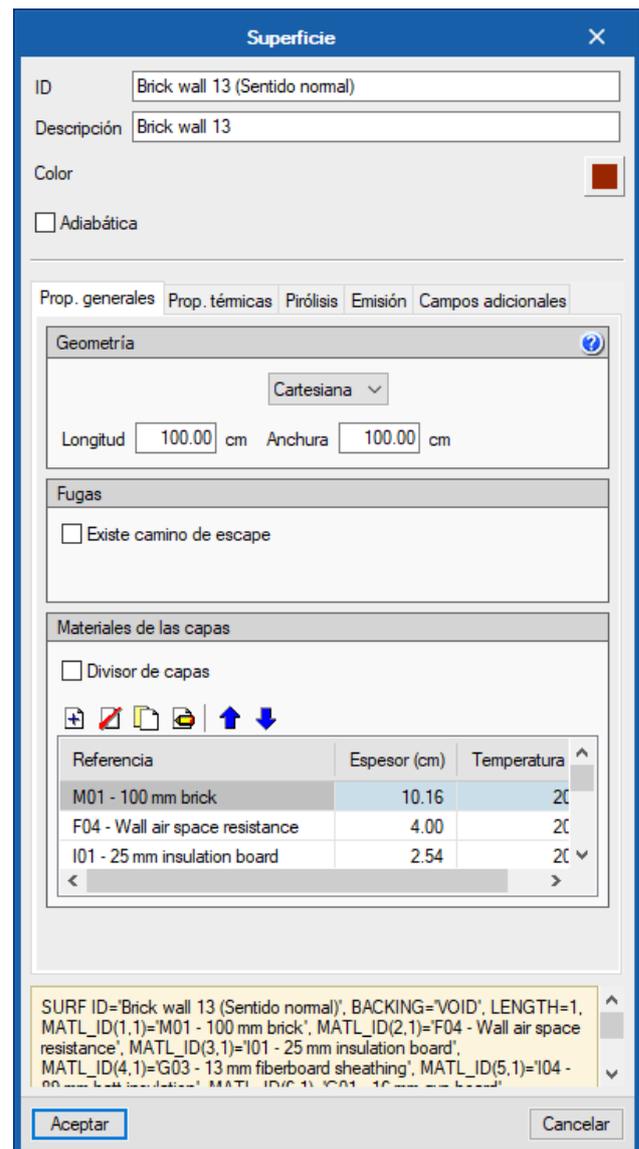


Fig. 20. Superficie, propiedades generales

3.4.3 *Propiedades térmicas*

El modelo de transmisión de calor por convección que utiliza FDS en la simulación puede ser modificado de varias formas. A continuación se muestran las opciones que CYPEFIRE FDS nos permite emplear:

- **Modelo de transmisión de calor por convección por defecto**

- En el cálculo LES, el coeficiente de transmisión de calor h , medido en $W/(m^2 \cdot K)$, se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$h = \max \left[C |T_g - T_w|^{\frac{1}{3}}, \frac{k}{L} Nu \right]$$

Donde C es un coeficiente empírico para la convección natural, L es una longitud característica relacionada con el tamaño de la obstrucción física, k es la conductividad térmica del gas y Nu es el número de Nusselt.

- **Ley logarítmica del muro**

- El coeficiente local de transferencia de calor será obtenido a partir de la siguiente ecuación:

$$h = \frac{\dot{q}_w^n}{T_g - T_w} = \frac{\rho_w * c_p * u_\tau}{T^+}$$

- **Especificar el coeficiente de transmisión de calor**

- Se puede indicar directamente un valor constante del coeficiente de transmisión de calor por convección.

- **Especificar el flujo de calor en la superficie sólida**

- En lugar de alterar el coeficiente de transmisión de calor por convección, se puede especificar directamente un flujo fijo de calor. Existen dos formas para hacerlo:
 - Indicar el valor del flujo neto de calor. FDS calculará la temperatura de la superficie necesaria para asegurar que el flujo combinado de calor por radiación y convección es igual al flujo neto de calor.
 - Indicar de forma separada el flujo de calor por convección y el flujo de calor por radiación. El flujo de calor por radiación se determinará a partir de la emisividad y la temperatura de la superficie.

El reverso de una superficie representa la condición de contorno “detrás” de ésta. CYPEFIRE FDS permite seleccionar los siguientes tipos de reversos:

- **Vacío.** Se asume que el reverso del muro se encuentra en un espacio de aire. La temperatura de esta zona se puede definir mediante la opción temperatura del reverso.
- **Expuesto.** Permitirá a la superficie transmitir calor al espacio que se encuentra detrás del muro. Esta opción solo funcionará si el muro es menor o igual al espesor de una celda de la malla y si existe volumen del dominio computacional en el otro lado del muro.
- **Aislado.** Se asume que el muro está detrás de un material aislante, en cuyo caso no existirán pérdidas de calor hacia el material del reverso.

Además del tipo de reverso, también es posible indicar un valor para su emisividad.

El último grupo de opciones de esta pestaña está relacionado con la temperatura. Es posible indicar la temperatura del límite exterior de la superficie la cual se emplea, junto con la emisividad, para determinar el flujo de calor por radiación, cuando se especifica el flujo de calor total en las opciones de transmisión de calor por radiación. La temperatura de la superficie puede no ser constante y variar su valor en el tiempo, para indicar que esto ocurre se incluye la opción función de rampa.

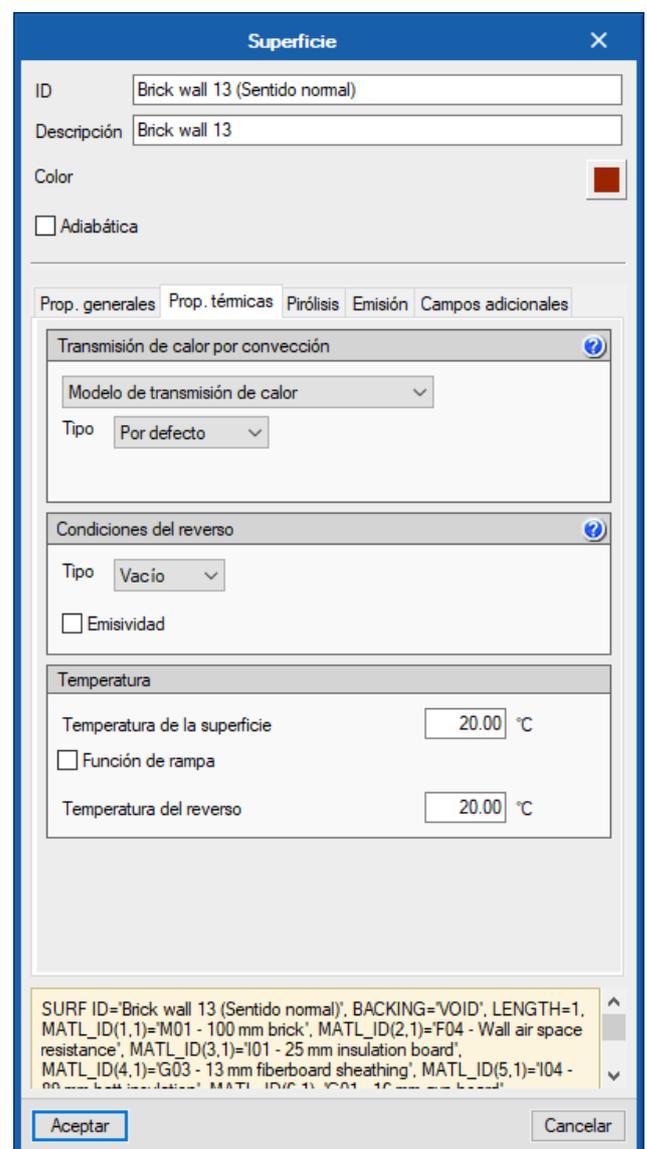


Fig. 21. Superficie, propiedades térmicas

En el caso de que se haya seleccionado un tipo de reverso vacío CYPEFIRE FDS también permite establecer la temperatura del espacio de aire donde se encuentra el reverso de la superficie.

3.4.4 Pirólisis

Dentro de esta pestaña es posible detallar el modelo de pirólisis que se lleva a cabo en la superficie. Éste puede venir definido por cada uno de los parámetros especificados en la definición de los materiales que componen la superficie o, por el contrario, se pueden establecer unas propiedades específicas. En ambos casos, FDS permite indicar si se desea que los objetos sólidos donde se emplee la superficie desaparezcan una vez se hayan consumido. Los objetos se eliminarán de la simulación celda por celda, como consecuencia de que la masa contenida dentro de cada celda sólida es consumida por las reacciones de pirólisis o por la velocidad de emisión de calor definida.

En el caso de escoger la definición manual del modelo de pirólisis se podrán definir los siguientes parámetros relacionados con la emisión de calor y la ignición de la superficie:

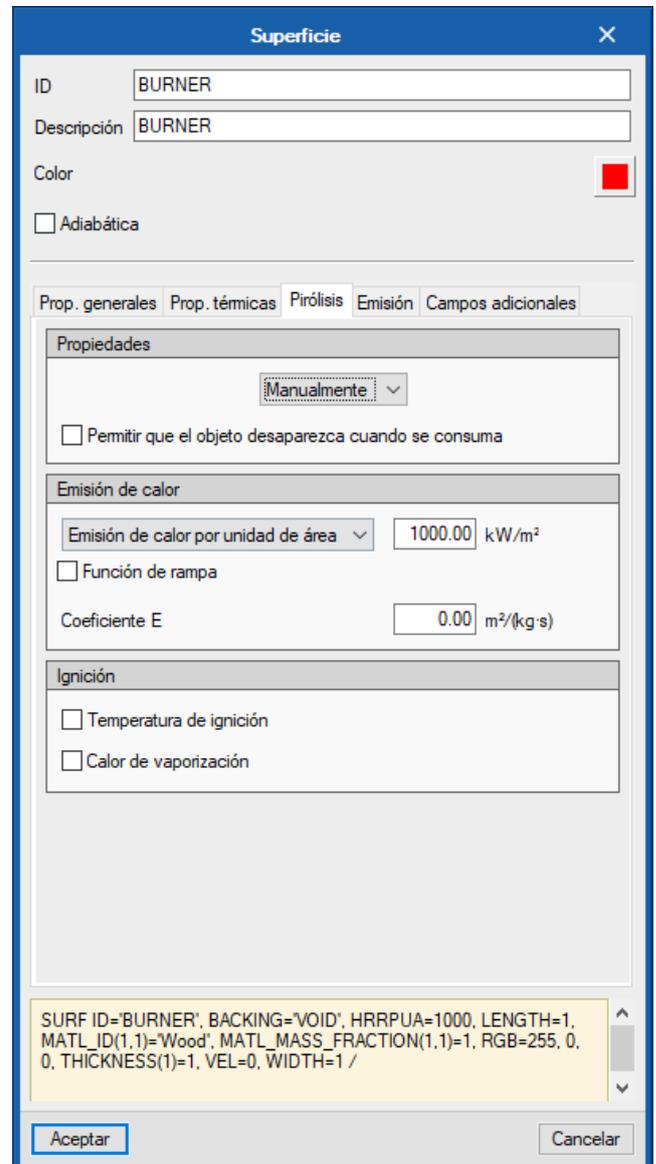


Fig. 22. Superficie, pirólisis

- **Emisión de calor por unidad de área.**
- **Velocidad de pérdida de masa.**
- **Función de rampa.** Permite describir un comportamiento no constante, en función del tiempo, de la emisión de calor de la superficie.
- **Coeficiente E.** Constante empírica que depende de las propiedades del material del combustible sólido y su configuración geométrica. Se emplea para calcular la reducción de la velocidad de combustión como consecuencia de la presencia de agua.
- **Temperatura de ignición.** Indica la temperatura a partir de la cual el objeto comenzará a quemarse.

- **Calor de vaporización.** Indica la cantidad de energía necesaria para quemar el combustible.

A la hora de especificar la emisión de calor de la superficie se deberá escoger entre introducir el valor de la *emisión de calor por unidad de área* o la *velocidad de pérdida de masa*.

3.4.5 *Emisión*

Por defecto, las especies gaseosas no penetran las superficies sólidas. Sin embargo, si se desea indicar la existencia de un flujo de emisión de especies, FDS proporciona dos formas de hacerlo:

- Si la *fracción de masa* de las especies debe tener un valor conocido dentro del flujo, se puede indicar este valor junto con la *velocidad del flujo*, el *flujo volumétrico* o el *flujo másico total*.
- En el caso de que se desee representar la emisión de especies a partir de su *flujo másico* se podrá indicar este valor y no será necesario especificar la *velocidad del flujo*, el *flujo volumétrico* ni el *flujo másico total*.

Las opciones que incluye CYPEFIRE FDS para definir las características del flujo son las siguientes:

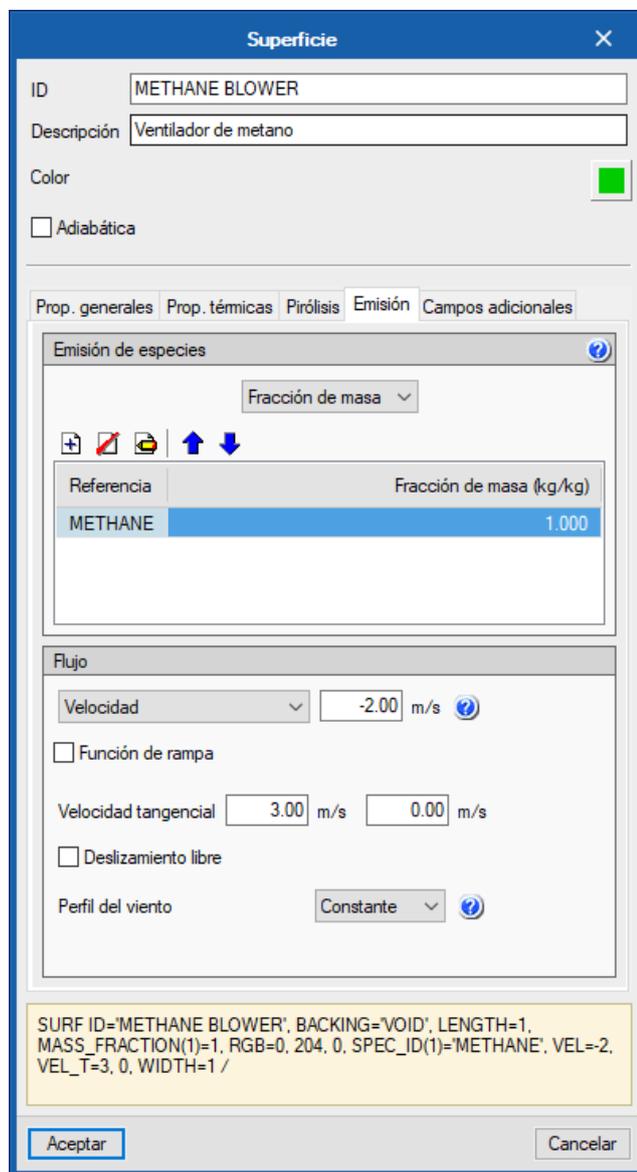
- **Velocidad.** A través de este parámetro se indica la componente normal de la velocidad.
- **Flujo volumétrico.** En lugar de especificar la velocidad es posible indicar el flujo volumétrico.
- **Flujo másico total.** En lugar de especificar la velocidad es posible indicar el flujo másico total.
- **Función de rampa.** Permite describir un comportamiento no constante, en función del tiempo, de la *velocidad del flujo*, el *flujo volumétrico* o el *flujo másico total*.
- **Deslizamiento libre.** Esta opción permite ajustar la tensión de la superficie a 0 (elimina la fricción viscosa).
- **Perfil del viento.** La velocidad del perfil de viento en cualquier límite exterior será constante por defecto; sin embargo, FDS permite generar otros perfiles:
 - **Parabólico.** Produce un perfil parabólico donde la velocidad especificada para el flujo es la velocidad máxima.

- **Atmosférico.** Produce un perfil de viento atmosférico que sigue la siguiente ley de potencia:

$$u = u_0(z/z_0)^p$$

Para este caso se deberán especificar los valores de z_0 y p . El parámetro u_0 se corresponde con la velocidad indicada para el flujo mientras que z es la altura del nivel del suelo especificada en las opciones del *Entorno*.

Un valor negativo de *velocidad*, *flujo volumétrico* o *flujo másico total* indicará que el flujo es dirigido hacia el interior del dominio computacional mientras que, si es positivo, el sentido del flujo apuntará al exterior del dominio.



Superficie

ID: METHANE BLOWER
 Descripción: Ventilador de metano
 Color: ■
 Adiabática

Prop. generales | Prop. térmicas | Pirólisis | **Emisión** | Campos adicionales

Emisión de especies

Fracción de masa

Referencia	Fracción de masa (kg/kg)
METHANE	1.000

Flujo

Velocidad: -2.00 m/s
 Función de rampa
 Velocidad tangencial: 3.00 m/s, 0.00 m/s
 Deslizamiento libre
 Perfil del viento: Constante

SURF ID='METHANE BLOWER', BACKING='VOID', LENGTH=1, MASS_FRACTION(1)=1, RGB=0, 204, 0, SPEC_ID(1)=METHANE, VEL=-2, VEL_T=3, 0, WIDTH=1 /

Aceptar Cancelar

Fig. 23. Superficie, emisión

3.5 Partículas

Las partículas lagrangianas pueden ser utilizadas para representar una amplia variedad de objetos que son demasiado pequeños para resolverse en la cuadrícula numérica. El motor de cálculo FDS soporta tres clases de partículas lagrangianas: “Partículas sin masa”, “Partículas líquidas” y todo lo demás.

3.5.1 *Partículas líquidas*

3.5.1.1 *Descripción*

- **Controlador.** FDS permite controlar la presencia de una partícula líquida en la simulación en función de la respuesta de un control o dispositivo.
- **Especie.** Para definir una partícula líquida, se debe especificar la especie que la forma. Si a una partícula líquida se le asigna la especie “WATER VAPOR” ésta tomará las propiedades termofísicas del agua, las propiedades radiativas del agua y se coloreará azul en el visor Smokeview.
- **Propiedades térmicas.** Se puede indicar el “Calor de combustión” de la partícula. Las gotas se evaporarán en una cantidad equivalente al vapor de combustible de tal manera que velocidad de liberación de calor resultante (suponiendo una combustión completa) es igual a la velocidad de evaporación multiplicada por el “Calor de combustión”.
- **Distribución de tamaño.** La distribución de tamaño de las partículas líquidas se especifica mediante una fracción de volumen acumulativo (CVF) indicada en el campo “Tipo de distribución”. La distribución por defecto es “Rossin-Rammler-Lognormal”:

$$F(D) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^D \frac{1}{\sigma D'} \exp\left(-\frac{\left[\ln\left(\frac{D'}{D_{V,0.5}}\right)\right]^2}{2\sigma^2}\right) dD' & (D \leq D_{V,0.5}) \\ 1 - \exp\left(-0.693\left(\frac{D}{D_{V,0.5}}\right)^\gamma\right) & (D > D_{V,0.5}) \end{cases}$$

Donde:

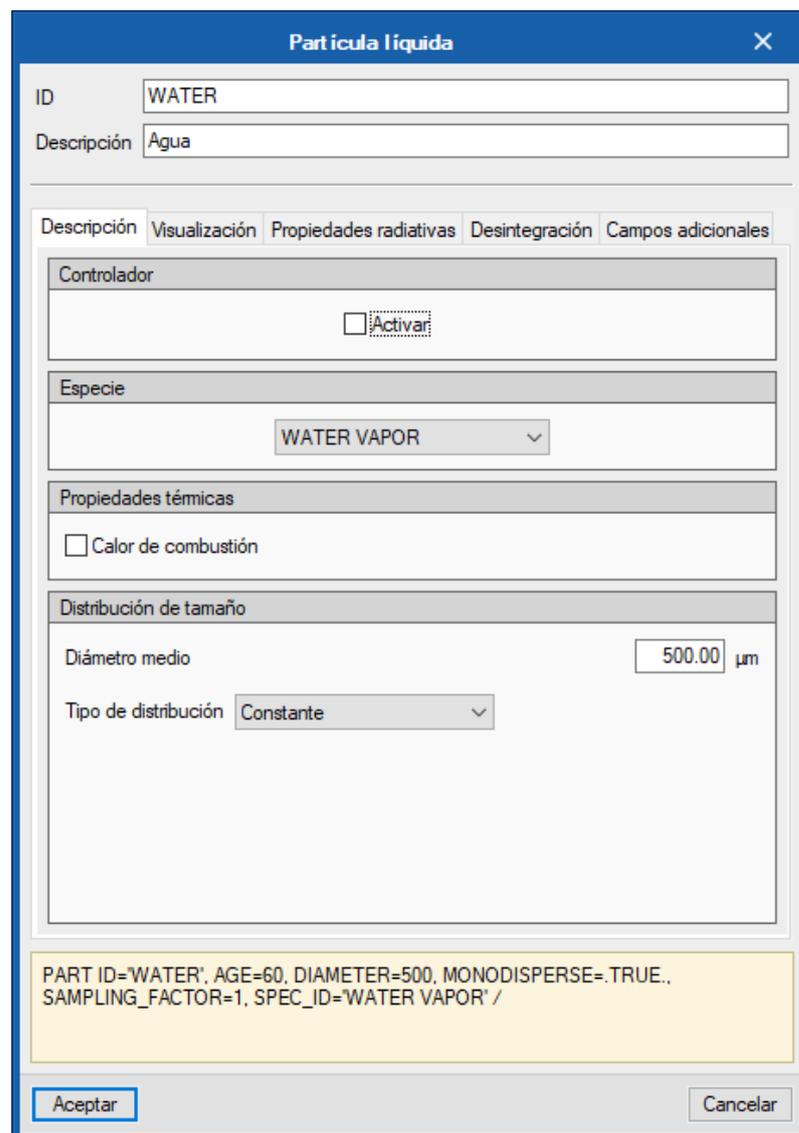
σ : Amplitud de la distribución de Lognormal

γ : Amplitud de la distribución de Rosin-Rammler

$D_{V,0.5}$: Diámetro medio [μm]

Alternativamente, es posible especificar las distribuciones “Lognormal” o “Rosin-Rammler” solas, en lugar de la combinación de ambas. Para evitar que el motor de cálculo FDS genere una distribución de tamaño se puede indicar el tipo de distribución “Constante”, en cuyo caso todas las partículas poseerán un diámetro igual al “Diámetro medio” indicado.

También es posible evitar que se generen partículas infinitamente grandes especificando un “Diámetro máximo”. Las gotas menores al “Diámetro mínimo” se evaporan en un solo paso de tiempo.



Partícula líquida

ID: WATER

Descripción: Agua

Descripción | Visualización | Propiedades radiativas | Desintegración | Campos adicionales

Controlador

Activar

Especie

WATER VAPOR

Propiedades térmicas

Calor de combustión

Distribución de tamaño

Diámetro medio: 500.00 µm

Tipo de distribución: Constante

PART ID='WATER', AGE=60, DIAMETER=500, MONODISPERSE=.TRUE., SAMPLING_FACTOR=1, SPEC_ID='WATER VAPOR' /

Aceptar Cancelar

Fig. 24. Partícula líquida, descripción

3.5.1.2 Visualización

- **Color.** Es posible indicar en función de cuál de las propiedades siguientes la partícula obtiene su color:
 - Temperatura
 - Diámetro
 - Masa
 - Duración
 - Velocidad

Si no se especifica ninguna propiedad, Smokeview dibujará las partículas en un único color que también se puede indicar en este panel. Por defecto, el agua se coloreará en azul y el resto de partículas en negro.

- **Cantidad de partículas.** Es posible definir el “Factor de muestreo” y la “Duración” de las partículas. El primer parámetro se emplea para reducir el tamaño del fichero de salida de partículas que se usa para la simulación en Smokeview. El valor por defecto para las partículas sin masa es 1

(todas las partículas se ven en Smokeview) y para

el resto 10. Por otro lado, la “Duración” indica la cantidad de tiempo en que una partícula existe en la simulación.

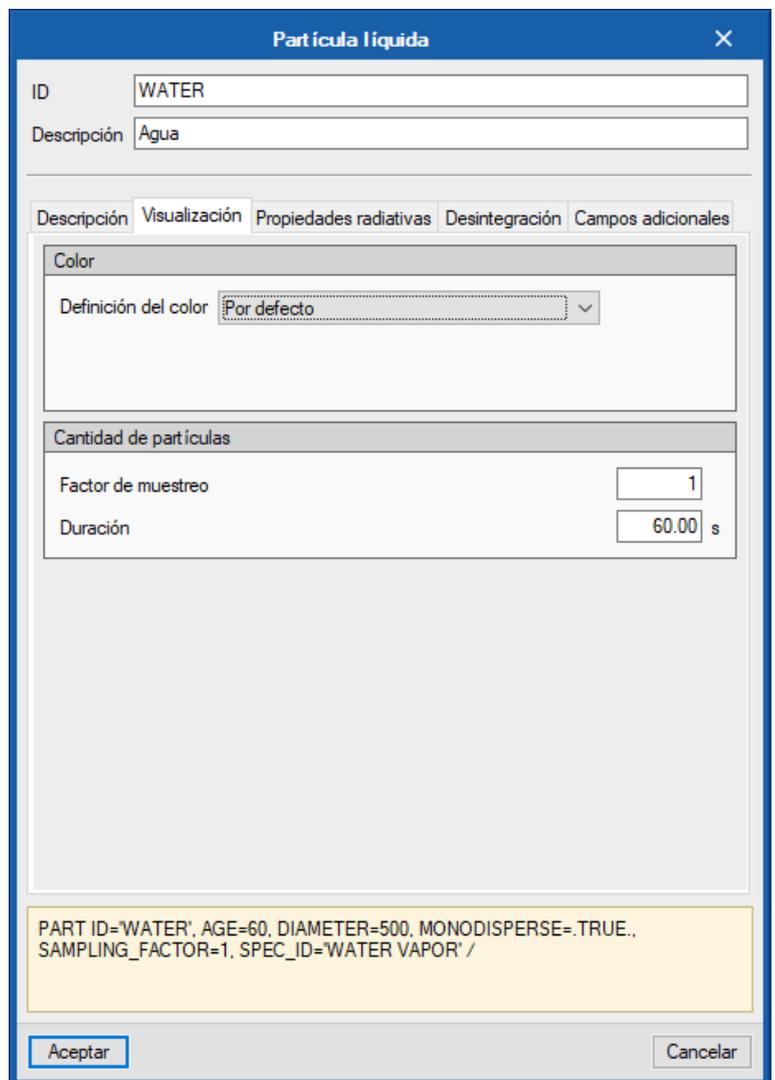
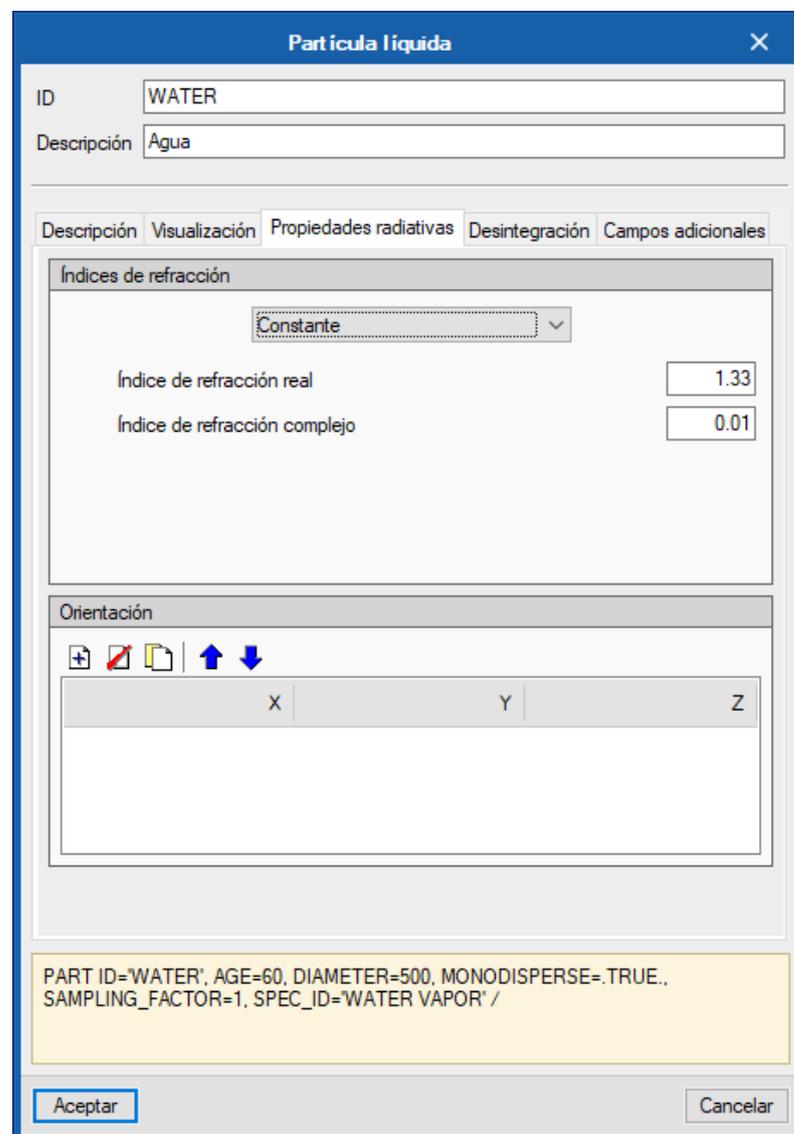


Fig. 25. Partícula líquida, vista

3.5.1.3 *Propiedades radiativas*

Las propiedades radiativas del agua y el combustible se obtienen automáticamente. En el caso del combustible, se asumen las propiedades del heptano.

- **Índices de refracción.** Es posible indicar directamente el valor del “Índice de refracción real” y del “Índice de refracción complejo” en caso de estos se consideren constantes. De forma alternativa, se pueden indicar valores de estos dos parámetros en función de la longitud de onda.
- **Orientación.** En caso de que el flujo de calor de radiación no esté distribuido uniformemente alrededor de la partícula, es posible dividir la partícula en pedazos, cada uno con su propia orientación.



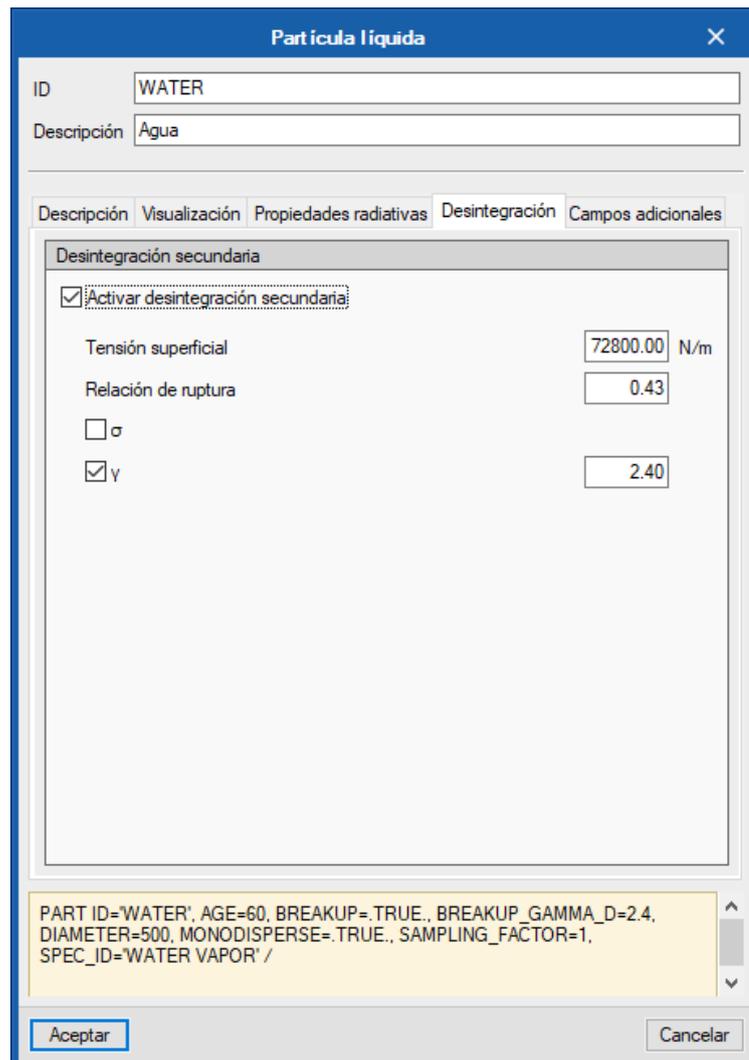
The screenshot shows a software dialog box titled "Partícula líquida" with a close button (X) in the top right corner. The dialog is divided into several sections:

- ID:** WATER
- Descripción:** Agua
- Navigation tabs:** Descripción, Visualización, **Propiedades radiativas** (selected), Desintegración, Campos adicionales
- Índices de refracción:**
 - A dropdown menu is set to "Constante".
 - Índice de refracción real:** 1.33
 - Índice de refracción complejo:** 0.01
- Orientación:**
 - Icons for adding, deleting, and saving, along with up and down arrows.
 - A table with columns labeled X, Y, and Z.
- Summary text:** PART ID='WATER', AGE=60, DIAMETER=500, MONODISPERSE=.TRUE., SAMPLING_FACTOR=1, SPEC_ID='WATER VAPOR' /
- Buttons:** Aceptar and Cancelar.

Fig. 26. Partícula líquida, propiedades radiativas

3.5.1.4 *Desintegración*

Es posible indicar que las partículas pueden sufrir una desintegración secundaria. En ese caso se deberá especificar la “Tensión superficial” del líquido y la “Relación de ruptura”. De forma opcional, se pueden indicar los índices de la distribución σ (Amplitud de la distribución de Lognormal) y γ (Amplitud de la distribución de Rosin-Rammler).



The screenshot shows a software dialog box titled "Partícula líquida" with a close button (X) in the top right corner. The "ID" field contains "WATER" and the "Descripción" field contains "Agua". Below these fields are five tabs: "Descripción", "Visualización", "Propiedades radiativas", "Desintegración", and "Campos adicionales". The "Desintegración" tab is selected, showing a section titled "Desintegración secundaria".

Inside the "Desintegración secundaria" section, there is a checked checkbox labeled "Activar desintegración secundaria". Below this, there are three input fields:

- "Tensión superficial" with a value of "72800.00" and units "N/m".
- "Relación de ruptura" with a value of "0.43".
- A group of two checkboxes: σ (unchecked) and γ (checked). The γ checkbox has a value of "2.40" next to it.

At the bottom of the dialog, there is a yellow text box containing the following text: "PART ID='WATER', AGE=60, BREAKUP=.TRUE., BREAKUP_GAMMA_D=2.4, DIAMETER=500, MONODISPERSE=.TRUE., SAMPLING_FACTOR=1, SPEC_ID='WATER VAPOR' /". At the very bottom, there are two buttons: "Aceptar" and "Cancelar".

Fig. 27. Partícula líquida, desintegración

3.5.2 *Partículas sólidas*

La definición de la “Visualización”, las “Propiedades radiativas” y la “Desintegración” de las partículas sólidas es igual que la correspondiente a las partículas líquidas.

3.5.2.1 Descripción

- **Controlador.** FDS permite controlar la presencia de una partícula sólida en la simulación en función de la respuesta de un control o dispositivo.
- **Superficie.** Para definir una partícula sólida, se debe especificar la superficie que la forma y que le otorga sus propiedades.
- **Movimiento.** Es posible indicar al motor de cálculo FDS si una partícula sólida es estacionaria.
- **Arrastre.** Indica la correlación del coeficiente de arrastre como función del número de Reynolds basado en el diámetro de la partícula.

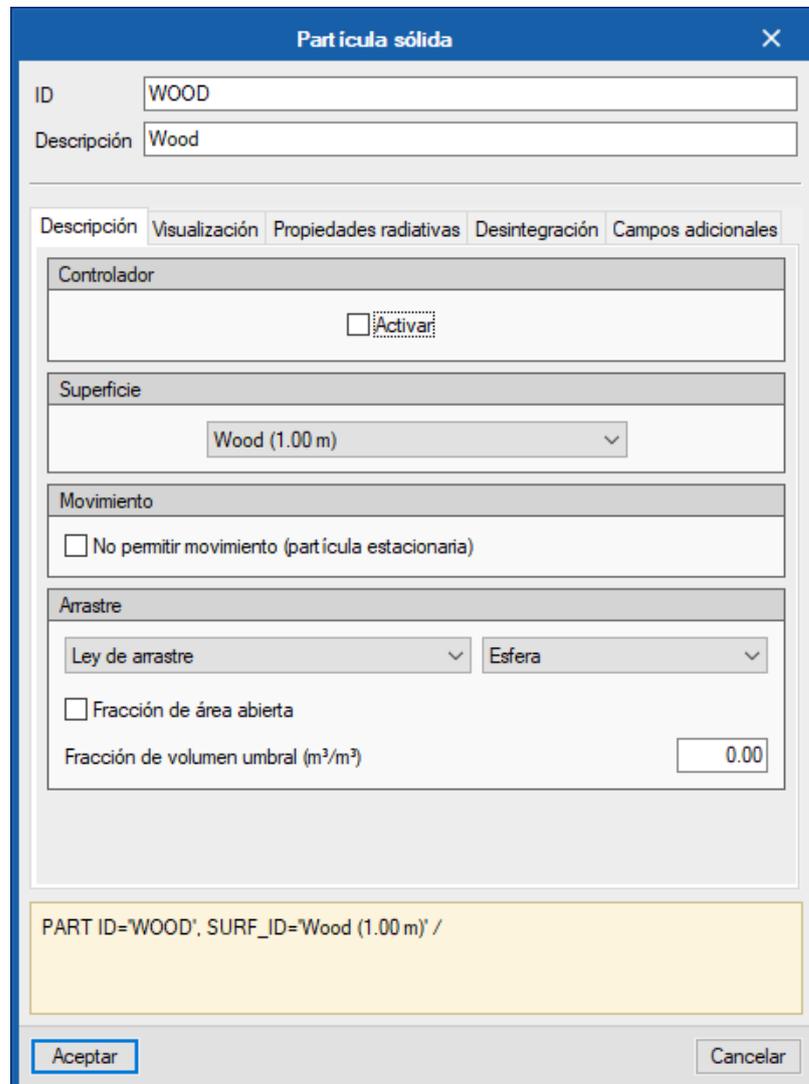


Fig. 28. Partícula sólida, descripción

3.5.3 *Partículas sin masa*

Las partículas sin masa son las partículas lagrangianas más simples y se emplean únicamente para la visualización.

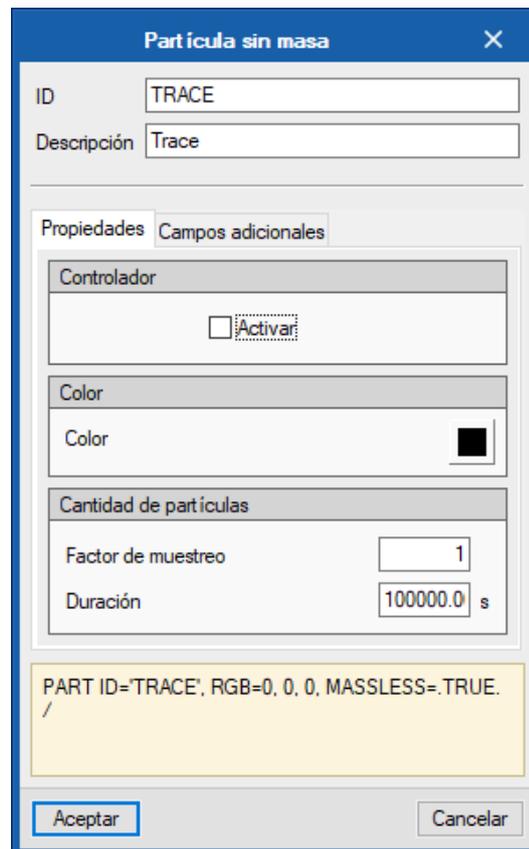


Fig. 29. Partícula sin masa, propiedades

3.6 Reacciones

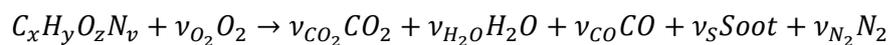
Para definir el modelo de combustión que se llevará a cabo durante la simulación, el motor de cálculo FDS permite especificar los parámetros que rigen el comportamiento de la reacción.

Debido al coste de resolución de las ecuaciones de transporte, el motor de cálculo FDS solo permite tener una reacción activa en el modelo. En consecuencia, se debe indicar en CYPEFIRE FDS que reacción se ha de tener en cuenta durante la simulación mediante la opción *Activa*.

3.6.1 *Combustible*

Dentro de esta pestaña CYPEFIRE FDS permite seleccionar el método de definición del tipo de combustible que se empleará en la reacción. Las dos opciones que ofrece el programa son las siguientes:

- **Modelo químico simple.** En el modelo químico simple la forma de la reacción se asume siempre como:



En consecuencia, para definir la fórmula química del combustible habrá que especificar el número de átomos de carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O) y nitrógeno (N).

- **Por tipo de especie.** Al definir la reacción de este modo se podrá seleccionar una especie que actúe como combustible, definida previamente en el proyecto.

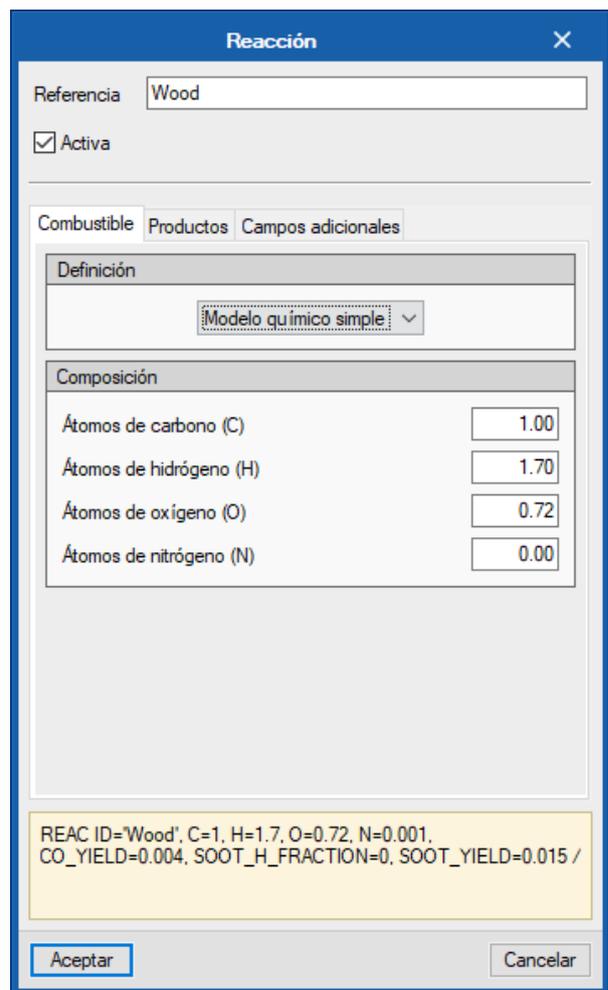


Fig. 30. Reacción, combustible

3.6.2 *Productos*

CYPEFIRE FDS permite especificar la cantidad de energía emitida por la reacción de combustión mediante los siguientes parámetros:

- **Calor de combustión.** Se emplea en el cálculo de la entalpía de formación del combustible para, posteriormente, poder determinar la emisión de energía por unidad de volumen de la reacción química.
- **EPUMO2.** Indica la cantidad de emisión de energía por unidad de masa de oxígeno consumido. Se emplea para determinar el *Calor de combustión* cuando no se conoce su valor.
- **Fracción de radiación.** Esta opción permite especificar explícitamente la fracción de la energía total de combustión que es emitida en forma de radiación térmica.
- **Calor de combustión ideal.** Al activar esta opción, el *Calor de combustión* se reducirá en base a los valores de *Fracción de masa transformada en hollín* y *Fracción de masa transformada en CO*. Si en lugar del *Calor de combustión* se define EPUMO2, su valor no cambiará.

Los coeficientes de los productos de la reacción del modelo químico simple se computan en base los siguientes parámetros:

- **Fracción de masa transformada en hollín.** Indica la fracción de masa de combustible transformada en partículas de humo.
- **Fracción de masa transformada en CO.** Indica la fracción de masa de combustible transformada en monóxido de carbono.
- **Fracción de átomos de hidrógeno en hollín.**

A partir de estos datos, el motor de cálculo FDS calcula los coeficientes automáticamente de la siguiente forma:

$$v_{O_2} = v_{CO_2} + \frac{v_{CO}}{2} + \frac{v_{H_2O}}{2} - \frac{z}{2}$$

$$v_{CO_2} = x - v_{CO} - (1 - X_H)v_S$$

$$v_{H_2O} = \frac{y}{2} - \frac{X_H}{2}v_S$$

$$v_{CO} = \frac{W_F}{W_{CO}}y_{CO}$$

$$v_S = \frac{W_F}{W_S}y_S$$

$$v_{N_2} = \frac{v}{2}$$

$$W_S = X_H W_H + (1 - X_H) W_C$$

Donde:

y_S : Fracción de masa transformada en hollín

y_{CO} : Fracción de masa transformada en CO

X_H : Fracción de átomos de hidrógeno en hollín

Por último, es posible especificar los valores de los parámetros que rigen la supresión del fuego, éstos son:

- **Temperatura crítica de llama.** Indica la temperatura en la que una llama de difusión deja de existir. En el proceso de combustión, una llama de difusión es aquella en la cual el oxidante se combina con el combustible por difusión.
- **Temperatura de autoignición.** Indica la temperatura mínima para que la combustión pueda ocurrir.

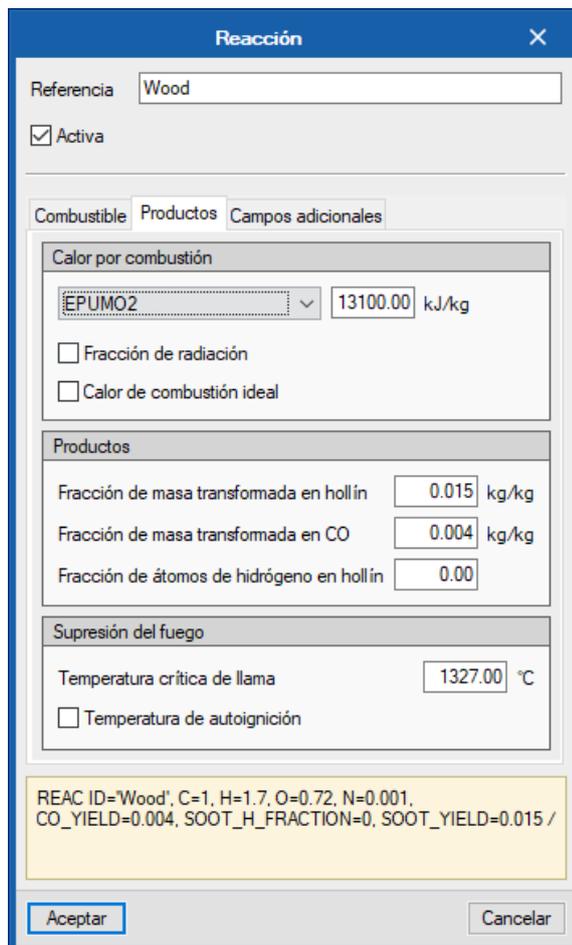


Fig. 31. Reacción, productos

3.7 Modelos de dispositivos

3.7.1 Modelos de detector de calor

Los detectores de calor son dispositivos capaces de medir la temperatura en un punto usando el algoritmo de activación basado en el Índice de Tiempo de Respuesta, como un rociador pero sin emisión.

$$\frac{dT_l}{dt} = \frac{\sqrt{|u|}}{RTI} (T_g - T_l) - \frac{C}{RTI} (T_l - T_m) - \frac{C_2}{RTI} \beta |u|$$

Donde:

u : Velocidad del gas

RTI : Índice de tiempo de respuesta

T_l : Temperatura del sensor

T_g : Temperatura del gas cercano al sensor

T_m : Temperatura del soporte

β : Fracción de volumen de agua líquida en el gas

C : Factor determinado experimentalmente que indica la cantidad de calor conducido hacia fuera del sensor por el soporte

C_2 : Constante determinada empíricamente por DiMarzo ($6 \times 10^6 \text{ K}/(\text{m/s})^{1/2}$)

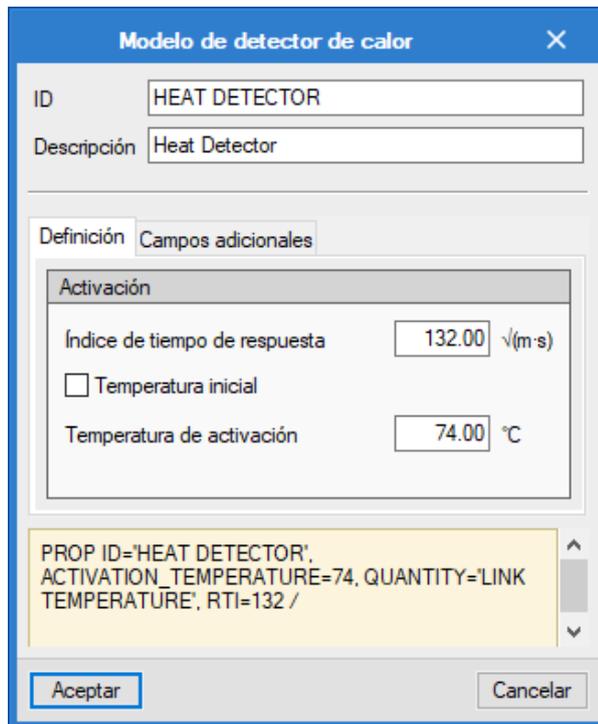


Fig. 32. Modelo de detector de calor

3.7.2 Modelos de detectores de humo

Los detectores de humo son dispositivos capaces de medir el nivel de oscurecimiento en un punto. El motor de cálculo FDS permite introducir los modelos de detectores de humo Heskestad y Cleary.

- **Heskestad.** La fracción de masa de humo en la cámara de detección del detector Y_c se sitúa por detrás de la fracción de masa en el flujo libre externo Y_e en un período de tiempo $\delta t = L/u$, donde u es la velocidad del flujo libre y L es la longitud característica de la geometría del detector. El cambio en la fracción de masa del humo en la cámara de detección se puede encontrar resolviendo la siguiente ecuación:

$$\frac{dY_c}{dt} = \frac{Y_e(t) - Y_c(t)}{L/u}$$

El detector se activa cuando Y_c supera el umbral de oscurecimiento del detector.

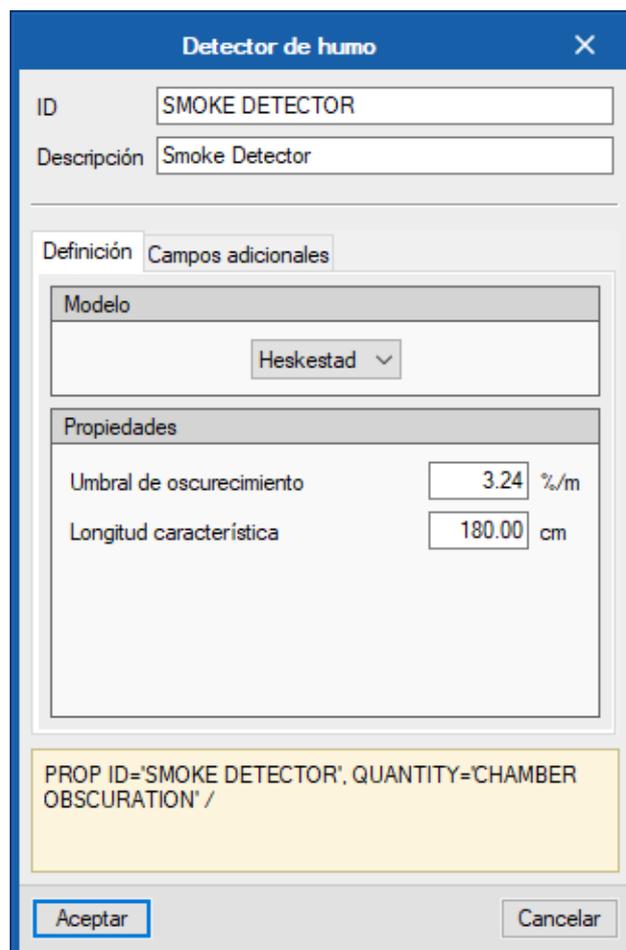


Fig. 33. Modelo de detector de humo

Cleary. El modelo de Cleary implica dos tiempos de llenado en lugar de uno. El humo debe pasar primero a través de la carcasa exterior y luego a través de una serie de deflectores antes de llegar a la cámara de detección. Existe un desfase temporal asociado con el paso del humo a través de la carcasa y también con la entrada del humo en la cámara de detección. El parámetro δt_e indica el tiempo de llenado característico de todo el volumen encerrado en la carcasa externa. El parámetro δt_c indica el tiempo de llenado característico de la cámara de detección. Cleary sugirió que cada tiempo de llenado característico es una función de la velocidad de flujo libre u fuera del detector.

$$\delta t_e = \alpha_e u^{\beta_e} \quad ; \quad \delta t_c = \alpha_c u^{\beta_c}$$

Los parámetros α y β son constantes empíricas relacionadas con la geometría específica del detector. El cambio en la fracción de masa de humo en la cámara de detección Y_c se puede determinar resolviendo la siguiente ecuación:

$$\frac{dY_c}{dt} = \frac{Y_e(t - \delta t_e) - Y_c(t)}{\delta t_c}$$

Donde Y_e es la fracción de masa del humo fuera del detector en el flujo libre.

3.7.3 *Modelos de termopar*

El valor de salida de un termopar es la temperatura del propio dispositivo. La temperatura del termopar difiere de la del gas en una cantidad relativa al tamaño de la esfera. Ésta puede determinarse empleando la ecuación de la temperatura del termopar, T_{TC} .

$$\rho_{TC} c_{TC} \frac{dT_{TC}}{dt} = \varepsilon_{TC} (U/4 - \sigma T_{TC}^4) + h(T_g - T_{TC}) = 0$$

Donde:

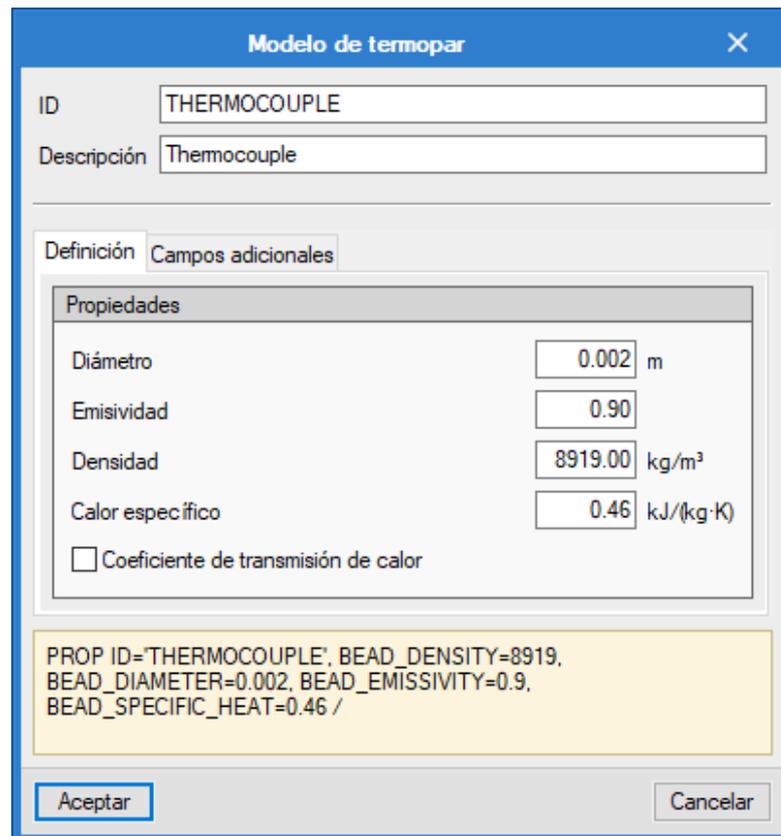
ε_{TC} : Emisividad del termopar

U : Intensidad radiativa integrada

T_g : Temperatura real del gas

h : Coeficiente de transmisión de calor a una esfera pequeña, $h = kNu/D_{TC}$

En el panel de modelo de termopar se debe especificar el valor del **diámetro**, la **emisividad**, la **densidad** y el **calor específico** de la esfera. Es posible forzar el valor del **coeficiente de transmisión de calor** en caso de que no se desee emplear el valor calculado. Los valores por defecto para la densidad y el calor específico de la esfera son los del níquel; 8908 kg/m³ y 0,44 kJ/kg/K.



Propiedades	
Diámetro	0.002 m
Emisividad	0.90
Densidad	8919.00 kg/m ³
Calor específico	0.46 kJ/(kg·K)
<input type="checkbox"/> Coeficiente de transmisión de calor	

PROP ID='THERMOCOUPLE', BEAD_DENSITY=8919,
BEAD_DIAMETER=0.002, BEAD_EMISSIVITY=0.9,
BEAD_SPECIFIC_HEAT=0.46 /

Fig. 34. Modelo de termopar

3.7.4 Modelos de rociador

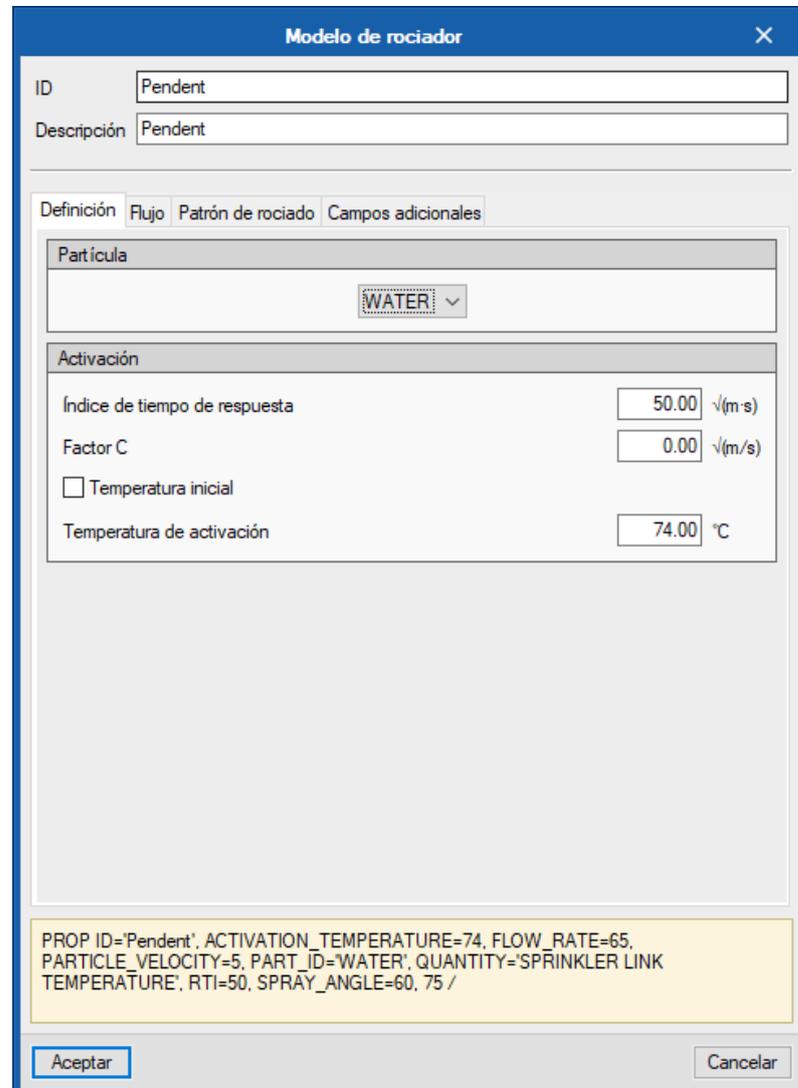


Fig. 35. Modelo de rociador, definición

3.7.4.1 Definición

- **Partícula.** Indica la partícula que va a ser rociada por el dispositivo.
- **Activación.** En el motor de cálculo FDS los rociadores se activan según el algoritmo estándar RTI (Índice de Tiempo de Respuesta).

$$\frac{dT_l}{dt} = \frac{\sqrt{|u|}}{RTI} (T_g - T_l) - \frac{C}{RTI} (T_l - T_m) - \frac{C_2}{RTI} \beta |u|$$

Donde:

u : Velocidad del gas

RTI : Índice de tiempo de respuesta

T_l : Temperatura del sensor

T_g : Temperatura del gas cercano al sensor

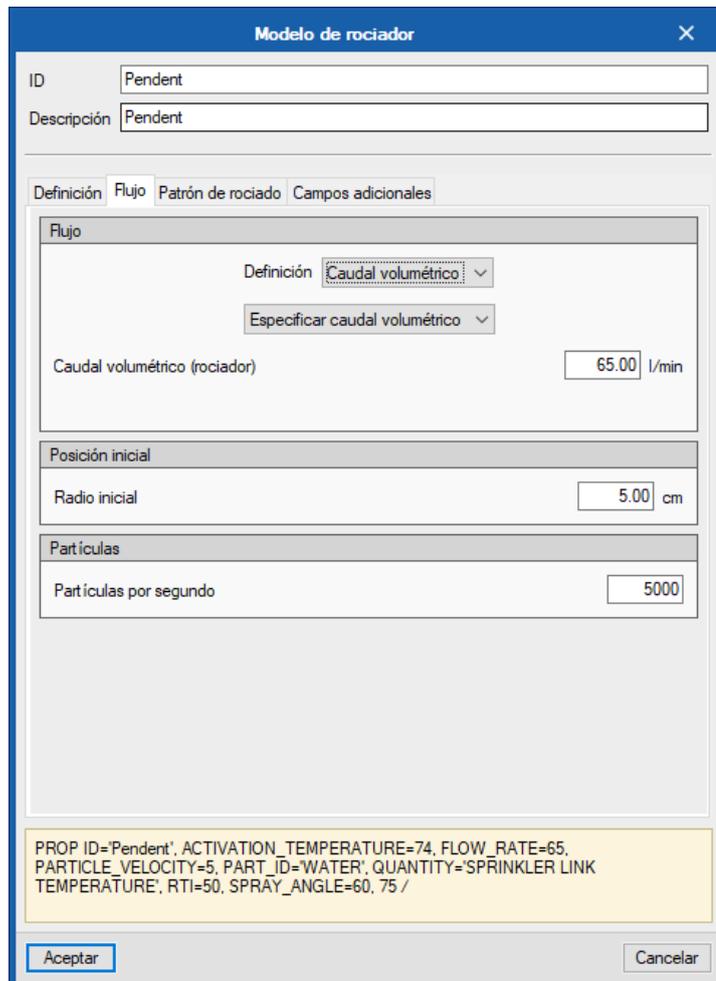
T_m : Temperatura del soporte del rociador

β : Fracción de volumen de agua líquida en el gas

C : Factor determinado experimentalmente que indica la cantidad de calor conducido hacia fuera del sensor por el soporte

C_2 : Constante determinada empíricamente por DiMarzo ($6 \times 10^6 \text{ K}/(\text{m/s})^{1/2}$)

3.7.4.2 Flujo



Modelo de rociador

ID: Pendent

Descripción: Pendent

Definición: Flujo

Definición: Caudal volumétrico

Especificar caudal volumétrico

Caudal volumétrico (rociador): 65.00 l/min

Posición inicial

Radio inicial: 5.00 cm

Partículas

Partículas por segundo: 5000

PROP ID='Pendent', ACTIVATION_TEMPERATURE=74, FLOW_RATE=65, PARTICLE_VELOCITY=5, PART_ID='WATER', QUANTITY='SPRINKLER LINK TEMPERATURE', RTI=50, SPRAY_ANGLE=60, 75 /

Aceptar Cancelar

Fig. 36. Modelo de rociador, flujo

- **Flujo.** El flujo de rociado se puede indicar especificando el valor del “Caudal volumétrico” o el “Caudal másico”. Como alternativa, es posible indicar el valor del

“Factor K” y la “Presión de operación”. En este último caso la caudal volumétrico se calcular a partir de la siguiente ecuación:

$$K\sqrt{p}$$

Donde:

K : Factor K [L/(min*bar^{1/2})]

p : Presión de operación [bar]

- **Posición inicial.** Se indica el valor del radio (m) de una esfera alrededor del aspersor donde se colocan inicialmente las gotas de agua en la simulación. Se supone que más allá de esta esfera las gotas se han roto completamente y se mueven de forma independiente.
- **Partículas.** Se indica el número de partículas insertadas cada segundo por cada rociador activo.

3.7.4.3 Patrón de rociado

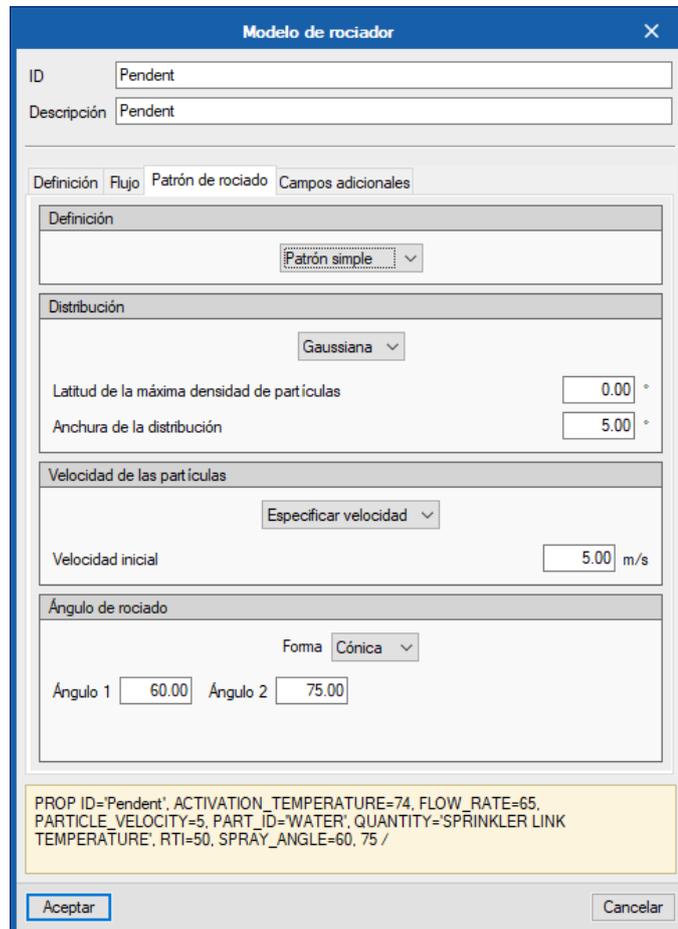


Fig. 37. Modelo de rociador, patrón de rociado

- **Patrón simple.**
 - **Distribución.** Indica cómo se distribuyen las gotas dentro del “Ángulo de rociado” especificado. Las opciones disponibles son “Gaussiana” y “Uniforme. En el caso de seleccionar la distribución “Gaussiana”, se deberá especificar el valor de la “Latitud de la máxima densidad de partículas” y la “Anchura de la distribución”.
 - **Velocidad de las partículas.** Indica la velocidad de las gotas en su punto de inserción.
 - **Ángulo de rociado.** Se indica el par de ángulos a través de los cuales se rocían las partículas. Los ángulos dibujan un patrón cónico relativo al polo sur de la esfera centrada en el rociador con un radio igual al indicado para la “Posición inicial”.
- **Patrón complejo.**
 - **Tabla.** Para patrones complejos de rociado, es posible emplear una tabla de valores con la distribución esférica para cada ángulo sólido. “Latitud 1” y “Latitud 2” son los límites del ángulo sólido medido en grados desde el polo sur (0 es el polo sur y 90 es el ecuador, 180 es el polo norte). Los parámetros “Longitud 1” y “Longitud 2” son los límites del ángulo sólido (también en grados), donde 0 (o 360) está alineado con el eje x y 90 está alineado con el eje y. Por último, se debe especificar la “Velocidad” de las gotas en su punto de inserción y la fracción del caudal total de líquido que debe emerger de ese ángulo sólido en particular (“Fracción de flujo”).

3.7.5 Modelos de boquilla

Las boquillas son dispositivos similares a los rociadores, la diferencia es que éstas no se activan en base al modelo estándar RTI (Índice de Tiempo de Respuesta).

La definición del “Flujo” y el “Patrón de rociado” es equivalente a la descrita en el apartado anterior correspondiente a los “Modelos de rociador”.

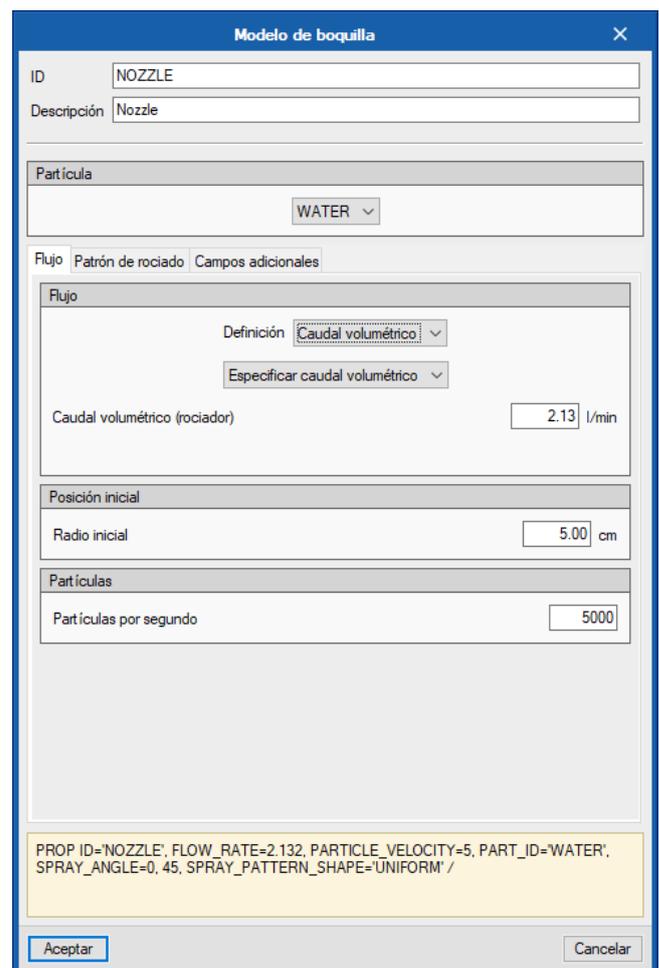


Fig. 38. Modelo de boquilla, flujo

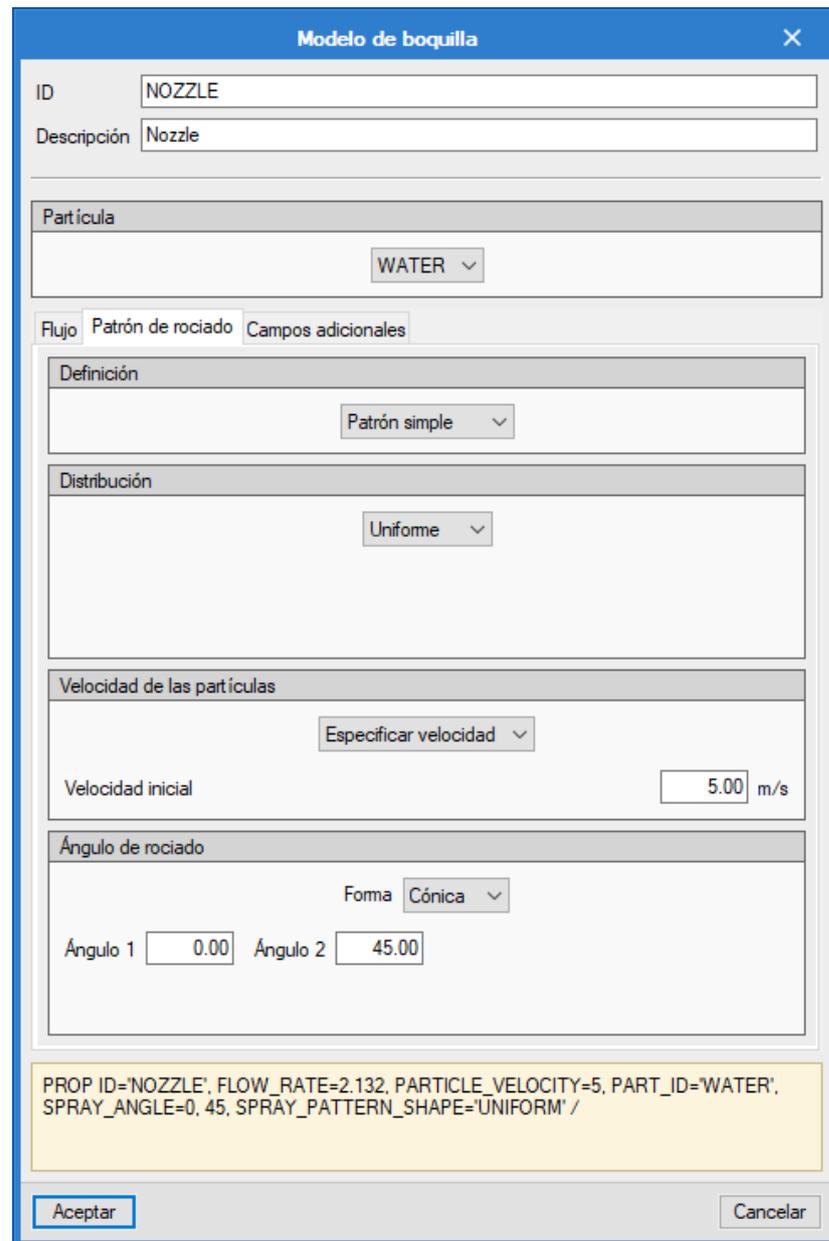


Fig. 39. Modelo de boquilla, patrón de rociado

3.8 Mallas

Las mallas constituyen la región computacional de la simulación, lo que implica que todos los objetos que intervengan en el cálculo deben estar en el interior de una malla. Una malla es un paralelepípedo definido por dos puntos que se corresponden con dos de sus esquinas opuestas.

En una simulación puede introducirse más de una malla con el objetivo de ejecutar el cálculo en paralelo a través de MPI (Message Passing Interface).

Cada malla está subdividida en celdas uniformes. El tamaño de las celdas debe ser aproximadamente el mismo en las tres direcciones para obtener un grado óptimo de precisión.

Hay que destacar que el motor de cálculo FDS emplea la transformada rápida de Fourier (FFTs) para determinar la presión en las direcciones y y z, y este algoritmo es más eficiente cuando el número de celdas en esas direcciones puede ser factorizado en primos bajos, como 2, 3 y 5. El número de celdas en la dirección x no es afectado porque no se utiliza FFTs en la dirección x.

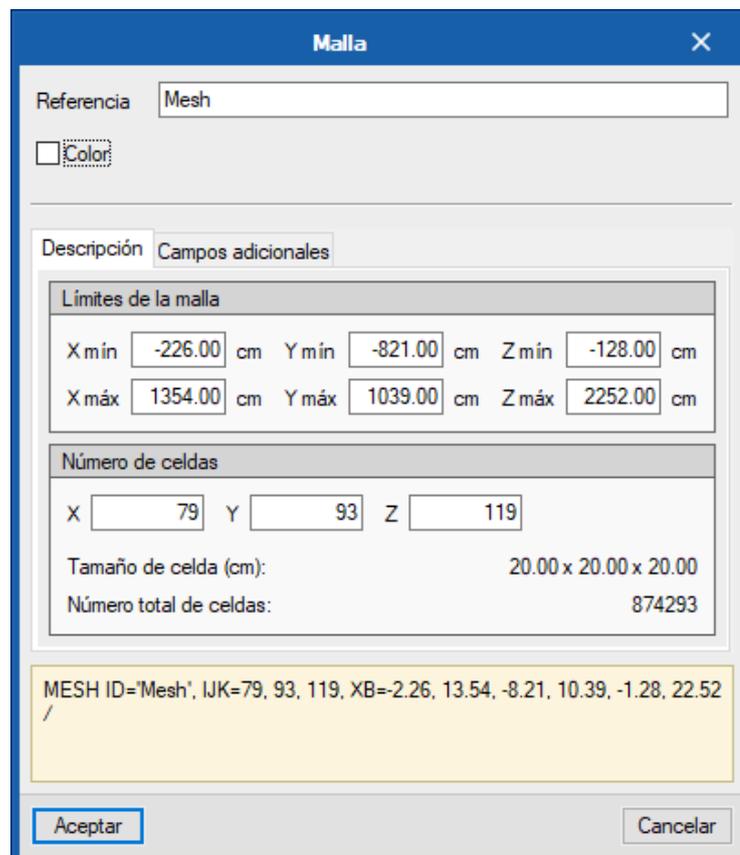


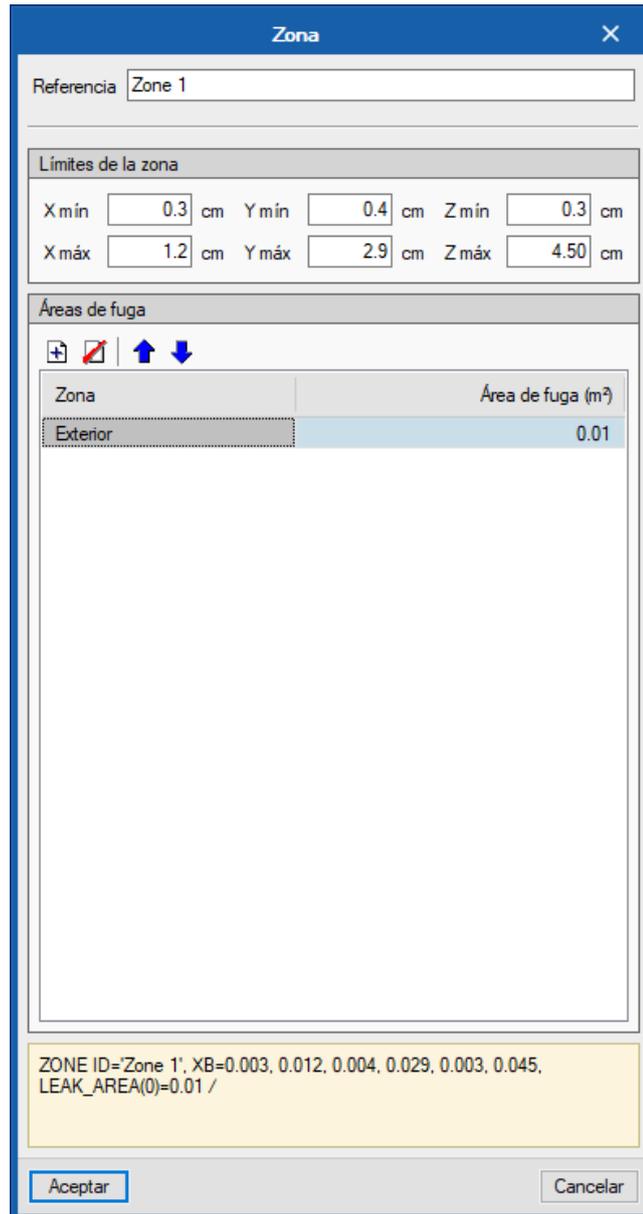
Fig. 40. Malla

3.9 Zonas

Mediante las zonas de presión es posible modelar regiones cerradas del dominio computacional que posean su propio nivel de presión ambiente. El motor de cálculo FDS no es capaz de identificar estos espacios basándose únicamente en la ubicación de las obstrucciones, en consecuencia, es necesario indicarle donde se sitúan y cuáles son sus dimensiones. Para ello, se debe especificar en CYPEFIRE FDS los valores de las coordenadas geométricas que definen los bordes de la zona rectangular. En caso de que la

región no sea rectangular, el motor de cálculo FDS extenderá los límites de la zona para conformar la región no rectangular.

Para indicar que una zona de presión está unida a otra, mediante conductos u otras conexiones, CYPEFIRE FDS permite indicar la existencia de un área de fuga y las dimensiones de ésta. Por defecto, se encuentra definida la zona *Exterior* la cual posee la presión ambiente introducida en las opciones de *Entorno* de la barra de herramientas.



Referencia

Límites de la zona

X mín cm Y mín cm Z mín cm

X máx cm Y máx cm Z máx cm

Áreas de fuga

Zona	Área de fuga (m ²)
Exterior	0.01

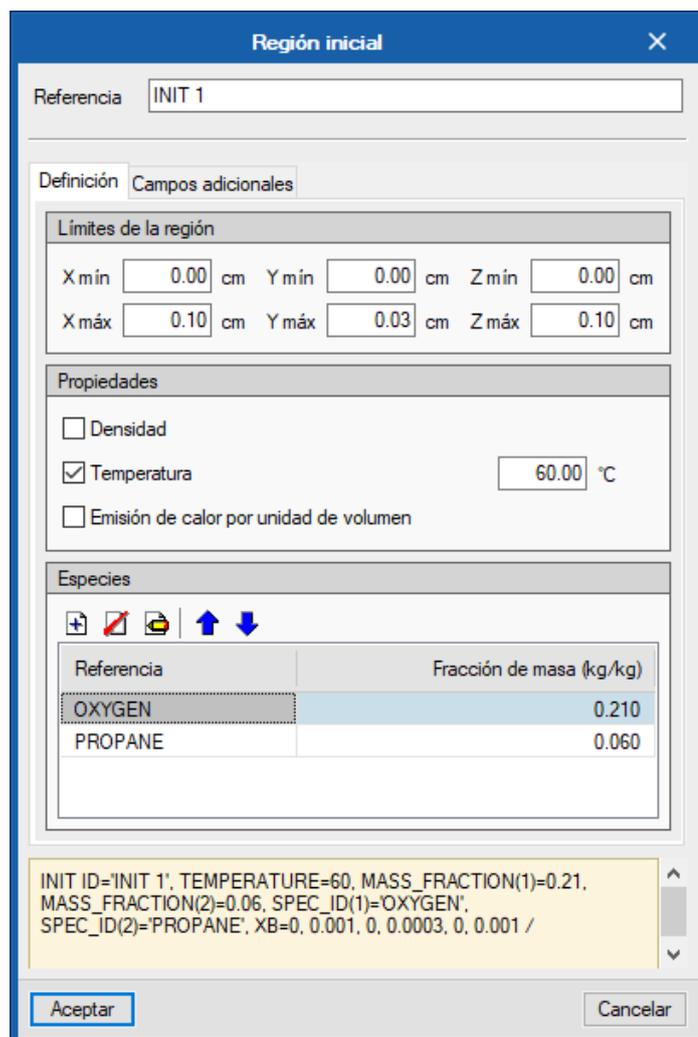
ZONE ID='Zone 1', XB=0.003, 0.012, 0.004, 0.029, 0.003, 0.045,
LEAK_AREA(0)=0.01 /

Fig. 41. Zona

3.10 Regiones iniciales

Una simulación FDS comienza con las condiciones ambientales definidas en las opciones de “Entorno” para toda la escena. Esto suele ser válido para la mayoría de los casos; sin embargo, en ocasiones es conveniente modificar las condiciones ambientales en una región concreta del dominio computacional. Las regiones iniciales son espacios rectangulares que permiten llevar a cabo esta función.

- **Límites de la región.** Indica las coordenadas de los dos puntos que definen la posición y dimensiones de la región inicial.
- **Propiedades.** Es posible indicar un valor de “Densidad”, “Temperatura” y “Emisión de calor por unidad de volumen” diferente al definido en las opciones de “Entorno”.
- **Especies.** Indica la presencia y concentración de especies en la región inicial.



Región inicial

Referencia: INIT 1

Definición Campos adicionales

Límites de la región

X mín: 0.00 cm Y mín: 0.00 cm Z mín: 0.00 cm
X máx: 0.10 cm Y máx: 0.03 cm Z máx: 0.10 cm

Propiedades

Densidad
 Temperatura: 60.00 °C
 Emisión de calor por unidad de volumen

Especies

Referencia	Fracción de masa (kg/kg)
OXYGEN	0.210
PROPANE	0.060

INIT ID='INIT 1', TEMPERATURE=60, MASS_FRACTION(1)=0.21,
MASS_FRACTION(2)=0.06, SPEC_ID(1)='OXYGEN',
SPEC_ID(2)='PROPANE', XB=0, 0.001, 0, 0.0003, 0, 0.001 /

Aceptar Cancelar

Fig. 42. Región inicial

3.11 Obstrucciones

Las obstrucciones son sólidos rectangulares cuyos lados son paralelos a los planos del eje de coordenadas. Se trata de la principal entidad FDS empleada para generar la geometría del modelo 3D a simular.

Es posible indicar el color de la obstrucción completa, en caso de no definirlo se utilizarán los colores de las superficies situadas en cada cara del objeto para representarlo en la simulación.

3.11.1 *Definición*

Dentro de esta pestaña se precisan los parámetros generales que definen la geometría y la activación de la obstrucción.

- **Controlador.** FDS permite controlar la presencia de una obstrucción en la simulación en función de la respuesta de un control o dispositivo. De esta forma es posible modelar eventos como la rotura de los cristales de las ventanas como consecuencia de la temperatura.
- **Límites del objeto.** Indica las coordenadas de los dos puntos que definen la posición y dimensiones de la obstrucción.
- **Textura.** Indica el origen de la textura empleada en las superficies que componen la obstrucción.

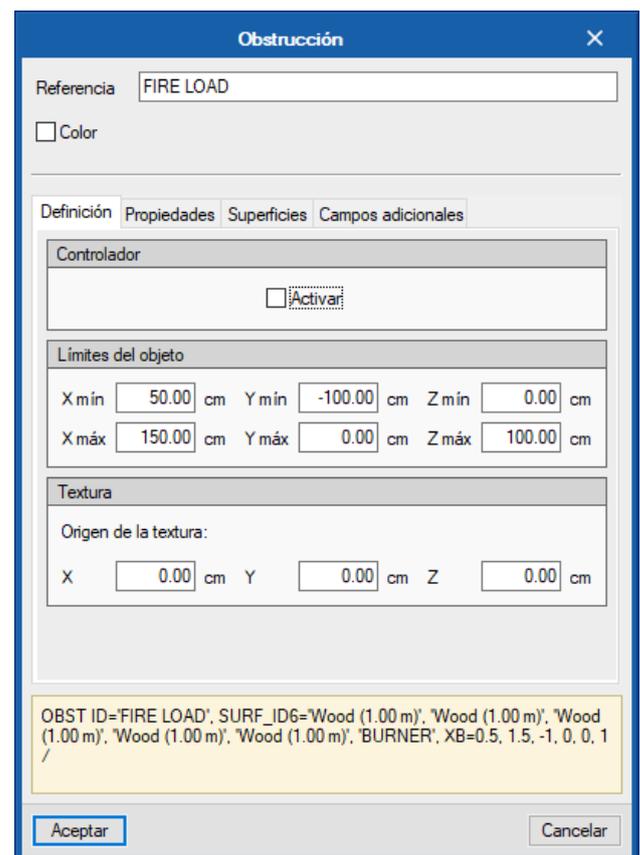


Fig. 43. Obstrucción, definición

3.11.2 *Propiedades*

Dentro de esta pestaña se encuentran las propiedades principales de la obstrucción relacionadas con su visualización y la interpretación de su geometría por el motor FDS.

- **Permitir huecos (HOLE).** Al activar esta opción se permitirá que la obstrucción sea penetrada por objetos de tipo agujero (HOLE).
- **Permitir respiraderos (VENT).** Al activar esta opción se permitirá colocar objetos de tipo respiradero (VENT) en las superficies de la obstrucción.
- **Rechazable.** Al activar esta opción FDS podrá descartar la obstrucción del cálculo.
- **Sobreponer.** Si las caras de dos obstrucciones se solapan, FDS utilizará las propiedades de la obstrucción que se ha definido en segundo lugar. Si no desea que esto ocurra, active esta opción en la segunda obstrucción para que FDS emplee las propiedades de la primera.
- **Con espesor.** Al activar esta opción se forzará al objeto a ocupar, como mínimo, el espacio de una celda de la malla. De esta forma se evita que FDS aproxime las obstrucciones delgadas a superficies 2D.
- **Dibujar contorno.** Al activar esta opción la obstrucción se dejará de representar como un sólido en la simulación y únicamente se mostrará su contorno.
- **Densidad aparente.** La densidad aparente se emplea para determinar la masa de combustible del objeto sólido. Este parámetro sobrescribe al resto de variables a partir de las cuales se calcularía la masa de combustible.

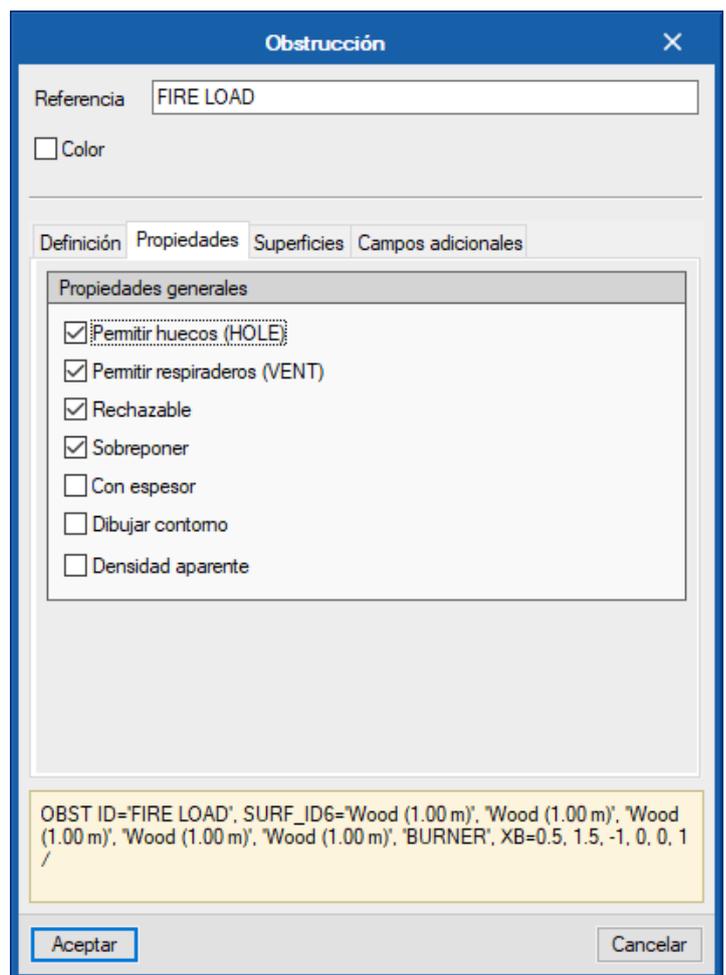


Fig. 44. Obstrucción, propiedades

3.11.3 Superficies

En esta pestaña se podrá indicar los tipos de superficies, previamente definidas, que componen las 6 caras del bloque rectangular. Para ello, es posible especificar un único tipo de superficie para toda la obstrucción o diferentes superficies para cada plano. Por defecto, las obstrucciones en FDS se crean con la superficie predefinida INERT.

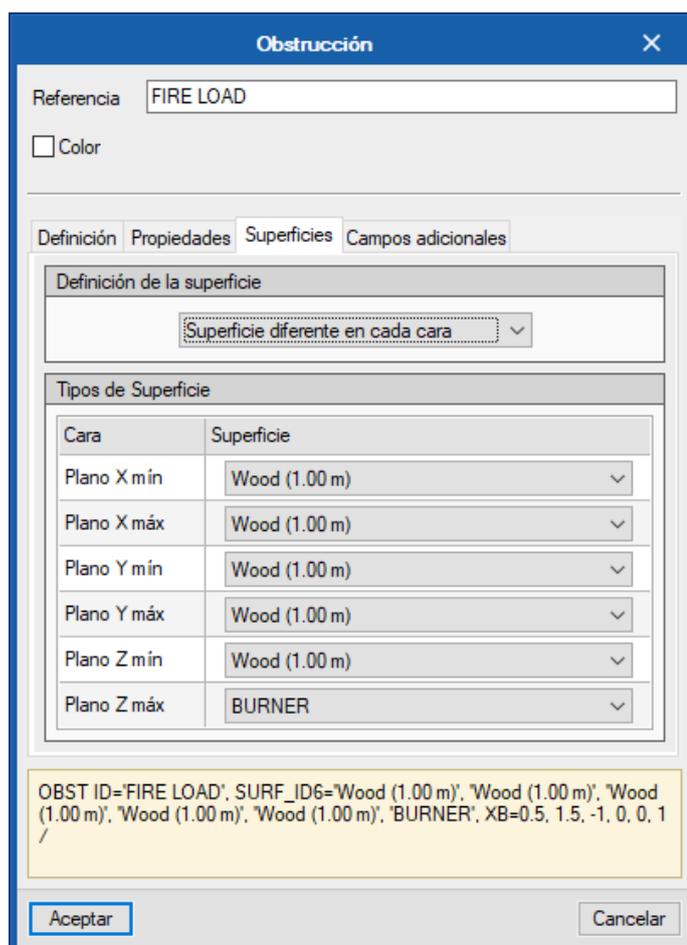


Fig. 45. Obstrucción, superficies

3.12 Agujeros

Los agujeros son bloques sólidos rectangulares cuyos lados son paralelos a los planos del eje de coordenadas, igual que las obstrucciones. Éstos restan su volumen a las obstrucciones que atraviesan, siempre que se haya indicado previamente que éstas permitan contener agujeros.

Por defecto, los agujeros son elementos transparentes en el modelo FDS; no obstante, es posible establecer un color concreto para representarlos.

3.12.1 *Definición*

Dentro de esta pestaña se precisan los parámetros generales que definen la geometría y la activación del agujero.

- **Controlador.** FDS permite controlar la presencia de un agujero en la simulación en función de la respuesta de un control o dispositivo.
- **Límites del objeto.** Indica las coordenadas de los dos puntos que definen la posición y dimensiones del agujero.

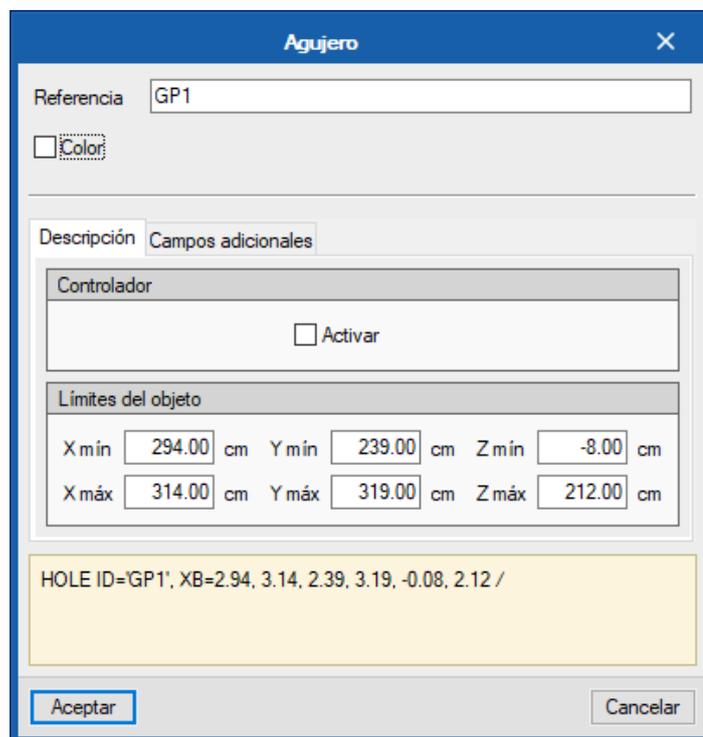


Fig. 46. Agujero

3.13 Respiraderos

Los respiraderos son planos adyacentes a las obstrucciones o a los límites de la malla. Entre otras cosas, los respiraderos pueden emplearse para modelar componentes del sistema de ventilación del edificio, como un difusor o un retorno.

3.13.1 *Definición*

Dentro de esta pestaña se precisan los parámetros generales que definen la ubicación y la activación del respiradero.

- **Controlador.** FDS permite controlar la presencia de un respiradero en la simulación en función de la respuesta de un control o dispositivo.
- **Límites del objeto.** Indica las coordenadas de los dos puntos que definen la posición y dimensiones del respiradero.
- **Textura.** Indica el origen de la textura empleada en la superficie empleada por el respiradero.

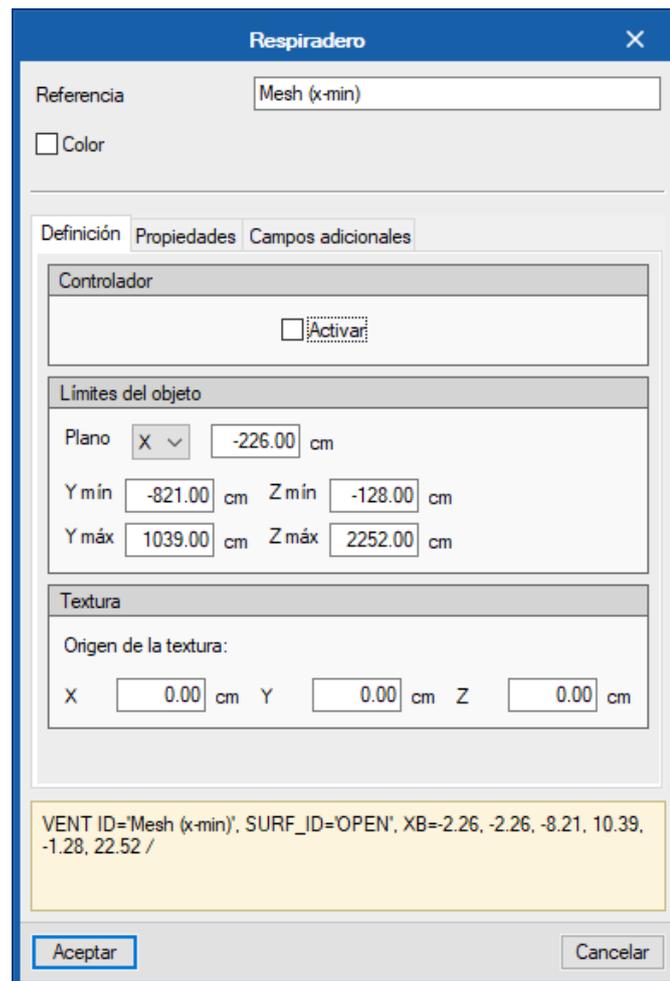


Fig. 47. Respiradero, definición

3.13.2 *Propiedades*

Dentro de este grupo de parámetros se encuentran las características que definen el comportamiento general del respiradero.

- **Superficie.** Es posible indicar una superficie para el respiradero diferente a la de la obstrucción que acompaña. Las superficies predefinidas OPEN, MIRROR y PERIODIC pueden aplicarse a los respiraderos para indicar un comportamiento especial.

- **Geometría.** Es posible indicar que el respiradero es circular o semicircular; adicionalmente, se deberá indicar el valor del radio. También se puede forzar la dirección normal del respiradero hacia uno de los ejes de coordenadas (en sentido positivo o negativo).
- **Propagación radial del fuego.** Es posible indicar al FDS que el fuego se propagará de forma radial en la superficie del respiradero. Para ello, se deberá especificar la velocidad de propagación y el punto de inicio.

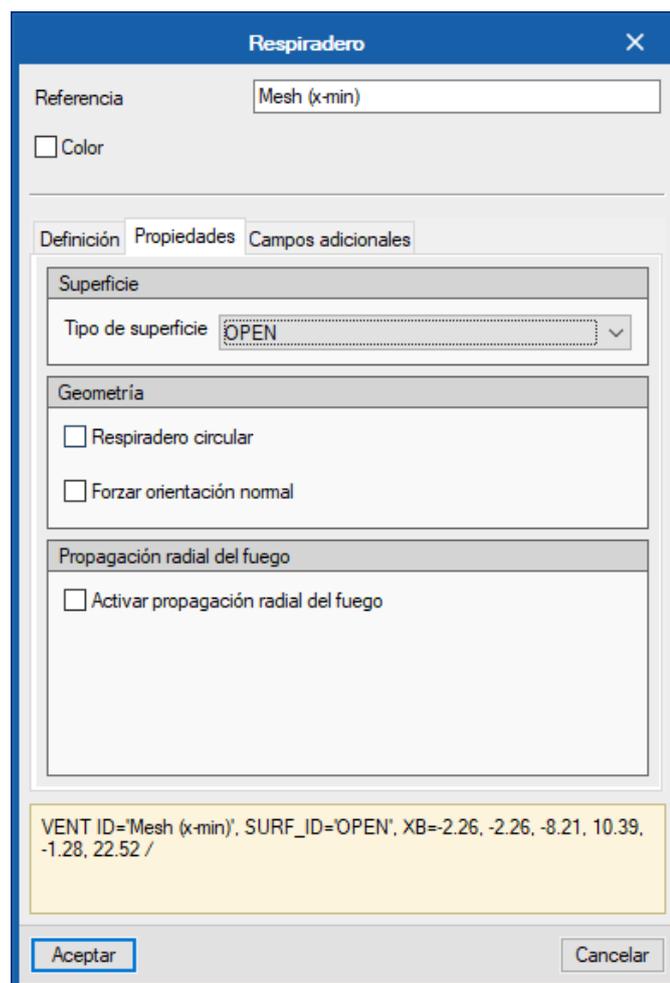


Fig. 48. Respiradero, propiedades

3.14 Dispositivos

Los dispositivos pueden emplearse para grabar el valor de un parámetro concreto en un punto de la simulación o para representar el modelo matemático de un sensor complejo, como los detectores de humo, rociadores o termopares.

3.14.1 *Dispositivos de medición de fase gaseosa*

3.14.1.1 *Definición*

Dentro de esta pestaña se precisan los parámetros generales que definen la ubicación y la activación del dispositivo de medición de fase gaseosa.

- **Controlador.** FDS permite controlar la presencia de un dispositivo de medición de fase gaseosa en la simulación en función de la respuesta de un control o dispositivo.
- **Tipo de medición.** Indica si se quiere realizar una medición “Puntual” u obtener una “Cantidad integrada” de un plano o un volumen del espacio.
- **Posición.** Indica las coordenadas correspondientes a la localización del dispositivo de medición de fase gaseosa en la escena, así como las componentes de su vector de dirección y su rotación.

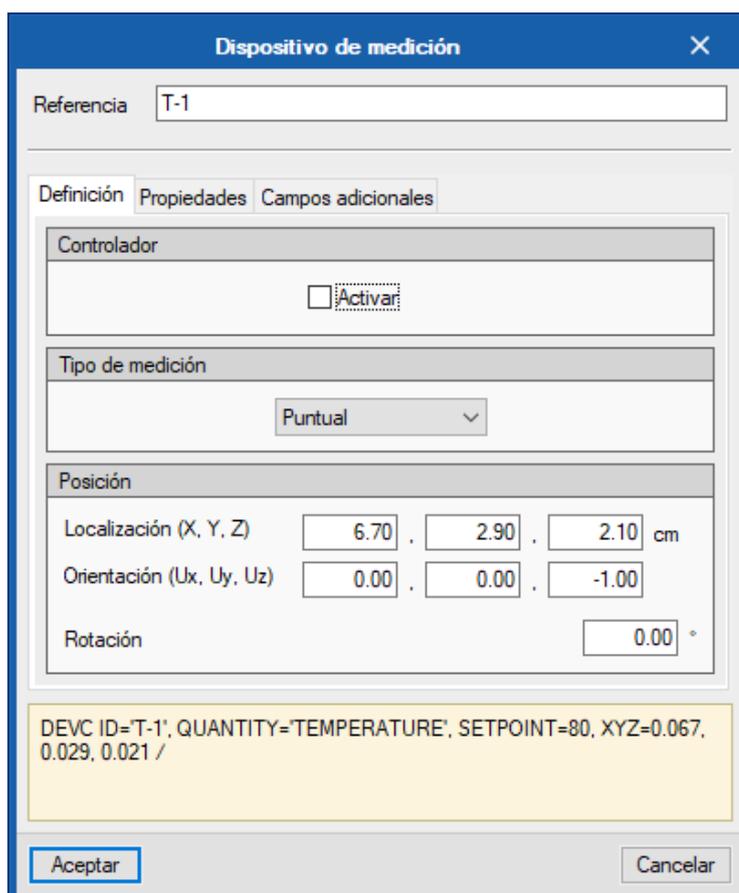
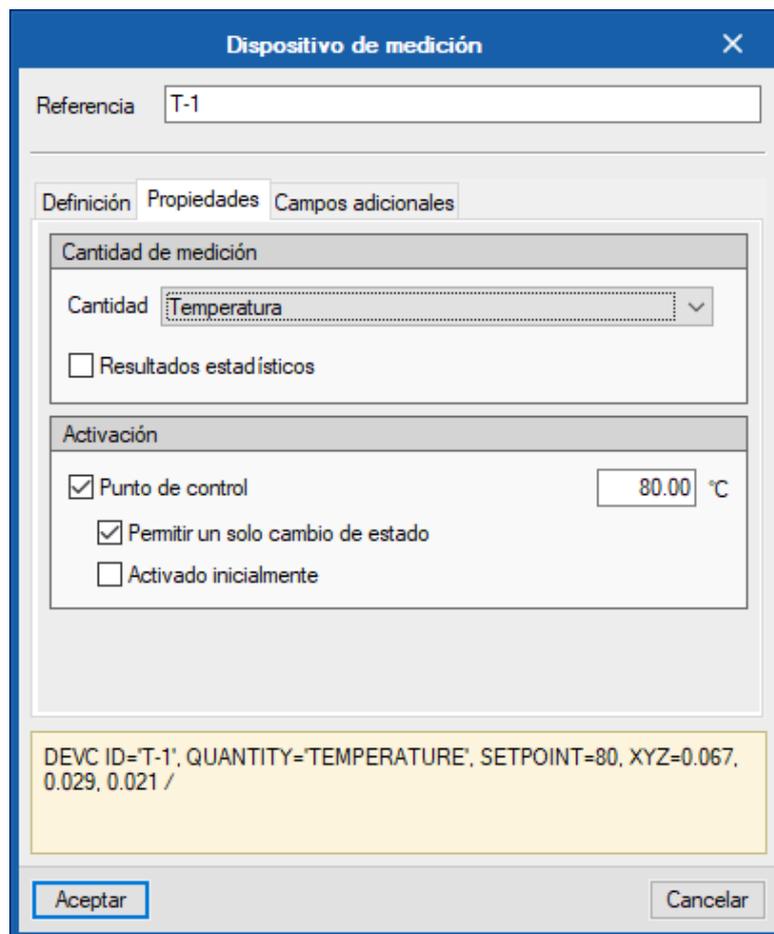


Fig. 49. Dispositivo de medición de fase gaseosa, definición

3.14.1.2 *Propiedades*

Dentro de este grupo de parámetros se encuentran las características que definen el comportamiento general del dispositivo de medición de fase gaseosa.

- **Cantidad de medición.** Indica la “Cantidad” que debe medir el dispositivo de medición de fase gaseosa durante la simulación. Es posible activar la opción “Resultados estadísticos” con el propósito de obtener un valor estadístico de la cantidad medida (Valor máximo, Valor mínimo, Valor medio...).
- **Activación.** Es posible indicar un valor como “Punto de control” que indique cuando el dispositivo de medición de fase gaseosa cambia de estado.
 - **Permitir un solo cambio de estado.** Al activar esta opción, el dispositivo de medición de fase gaseosa solo podrá cambiar de estado una única vez en la simulación.
 - **Activado inicialmente.** Al activar esta opción, se indica que el dispositivo de medición de fase gaseosa está activado al comienzo de la simulación.



Dispositivo de medición

Referencia: T-1

Definición | Propiedades | Campos adicionales

Cantidad de medición

Cantidad: Temperatura

Resultados estadísticos

Activación

Punto de control: 80.00 °C

Permitir un solo cambio de estado

Activado inicialmente

DEVC ID='T-1', QUANTITY='TEMPERATURE', SETPOINT=80, XYZ=0.067, 0.029, 0.021 /

Aceptar Cancelar

Fig. 50. Dispositivo de medición de fase gaseosa, propiedades

3.14.2 *Dispositivos de medición de fase sólida*

3.14.2.1 *Definición*

Dentro de esta pestaña se precisan los parámetros generales que definen la ubicación y la activación del dispositivo de medición de fase sólida.

- **Controlador.** FDS permite controlar la presencia de un dispositivo de medición de fase sólida en la simulación en función de la respuesta de un control o dispositivo.
- **Tipo de medición.** Indica si se quiere realizar una medición “Puntual” u obtener una “Cantidad integrada” de un plano o un volumen del sólido.
- **Posición.** Indica las coordenadas correspondientes a la localización del dispositivo de medición de fase sólida en la escena, así como la “Dirección normal a la superficie del sólido”.

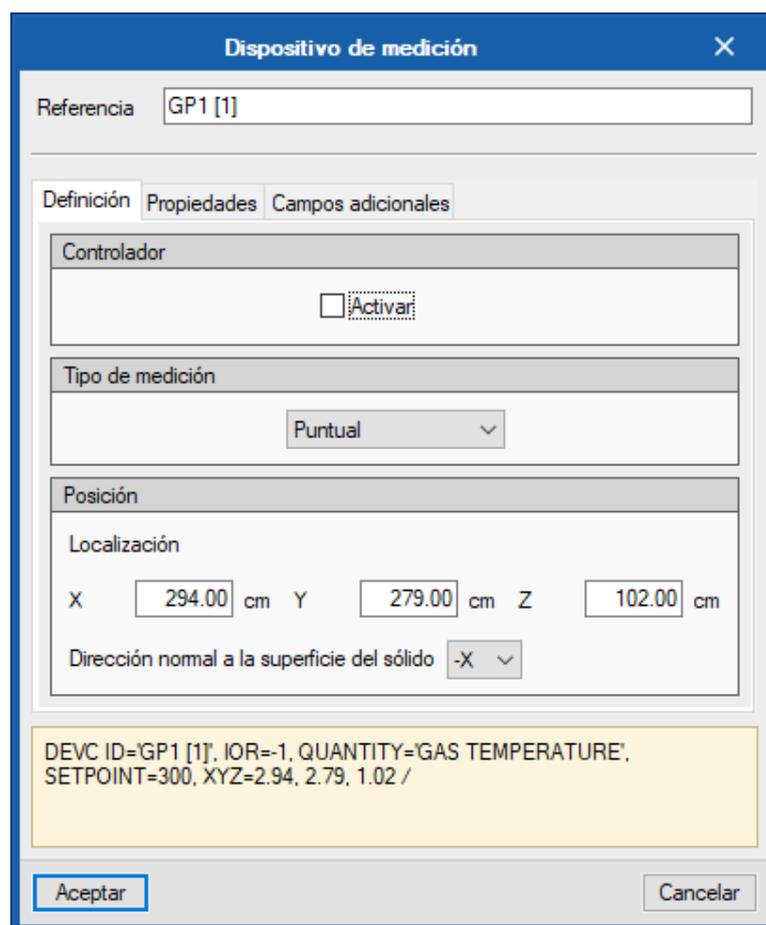


Fig. 51. Dispositivo de medición de fase sólida, definición

3.14.2.2 *Propiedades*

Dentro de este grupo de parámetros se encuentran las características que definen el comportamiento general del dispositivo de medición de fase sólida.

- **Cantidad de medición.** Indica la “Cantidad” que debe medir el dispositivo de medición de fase sólida durante la simulación. Es posible activar la opción “Resultados estadísticos” con el propósito de obtener un valor estadístico de la cantidad medida (Integral de superficie).
- **Activación.** Es posible indicar un valor como “Punto de control” que indique cuando el dispositivo de medición de fase sólida cambia de estado.
 - **Permitir un solo cambio de estado.** Al activar esta opción, el dispositivo de medición de fase sólida solo podrá cambiar de estado una única vez en la simulación.
 - **Activado inicialmente.** Al activar esta opción, se indica que el dispositivo de medición de fase sólida está activado al comienzo de la simulación.

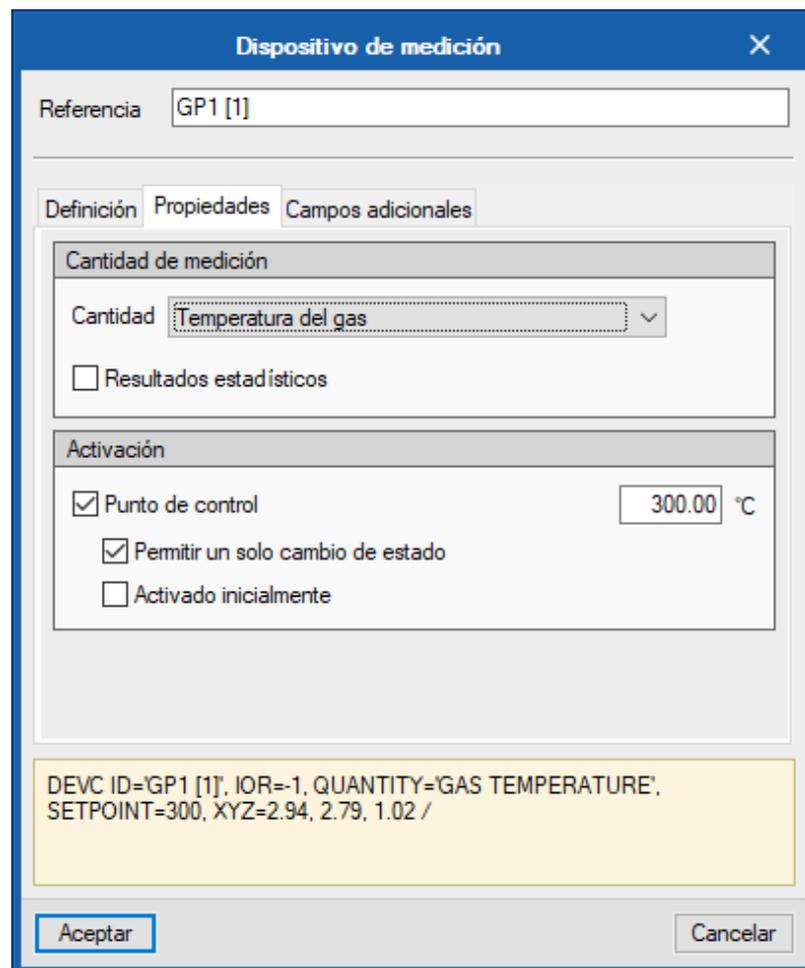


Fig. 52. Dispositivo de medición de fase sólida, propiedades

3.14.3 Detectores de calor

3.14.3.1 Definición

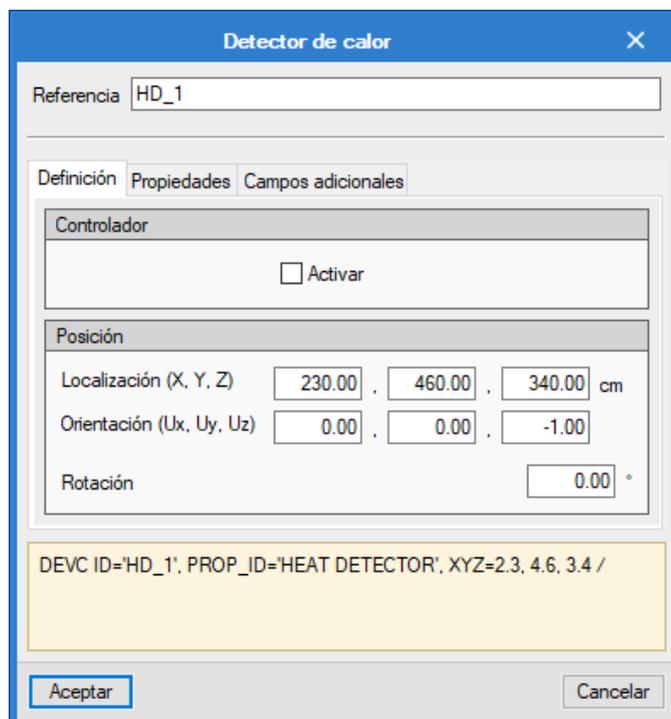


Fig. 53. Detector de calor, definición

Dentro de esta pestaña se precisan los parámetros generales que definen la ubicación y la activación del detector de calor.

- **Controlador.** FDS permite controlar la presencia de un detector de calor en la simulación en función de la respuesta de un control o dispositivo.
- **Posición.** Indica las coordenadas correspondientes a la localización del detector de calor en la escena, así como las componentes de su vector de dirección y su rotación.

3.14.3.2 Propiedades

Dentro de este grupo de parámetros se encuentran las características que definen el comportamiento general del detector de calor.

- **Modelo de detector de calor.** Indica el “Modelo de detector de calor”, previamente definido, cuyas propiedades se aplicarán al dispositivo.

- **Activación.**
 - **Permitir un solo cambio de estado.** Al activar esta opción, el detector de calor solo podrá cambiar de estado una única vez en la simulación.
 - **Activado inicialmente.** Al activar esta opción, se indica que el detector de calor está activado al comienzo de la simulación.

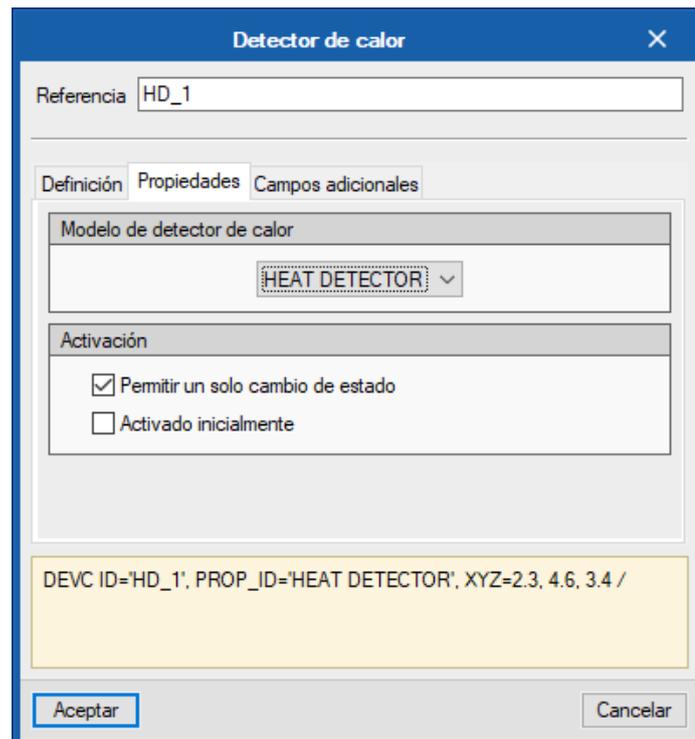


Fig. 54. Detector de calor, propiedades

3.14.4 Detectores de haz

3.14.4.1 Definición

Dentro de esta pestaña se precisan los parámetros generales que definen la ubicación y la activación del detector de haz.

- **Controlador.** FDS permite controlar la presencia de un detector de haz en la simulación en función de la respuesta de un control o dispositivo.
- **Posición del haz.** Indica las coordenadas correspondientes a la localización del detector de haz en la escena, así como las componentes de su vector de dirección y su rotación.
- **Activación.** Es posible indicar un valor como “Punto de control” que indique cuando el detector de haz cambia de estado.

- **Permitir un solo cambio de estado.** Al activar esta opción, el detector de haz solo podrá cambiar de estado una única vez en la simulación.
- **Activado inicialmente.** Al activar esta opción, se indica que el detector de haz está activado al comienzo de la simulación.

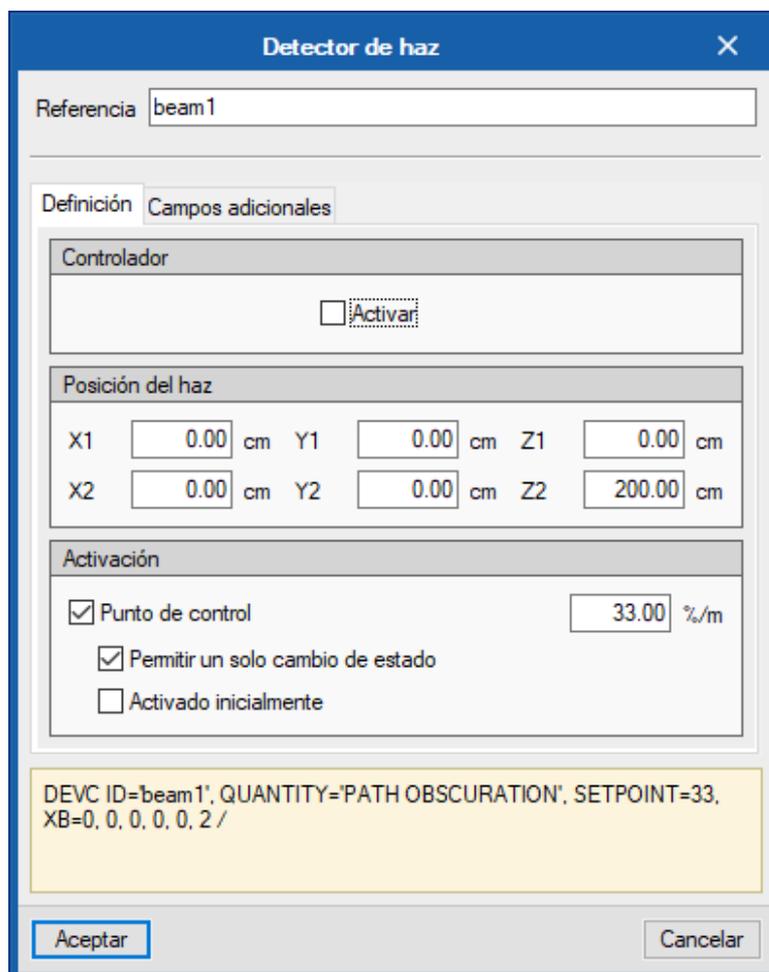


Fig. 55. Detector de haz

3.14.5 *Detectores de humo*

3.14.5.1 *Definición*

Dentro de esta pestaña se precisan los parámetros generales que definen la ubicación y la activación del detector de humo.

- **Controlador.** FDS permite controlar la presencia de un detector de humo en la simulación en función de la respuesta de un control o dispositivo.
- **Posición.** Indica las coordenadas correspondientes a la localización del detector de humo en la escena, así como las componentes de su vector de dirección y su rotación.

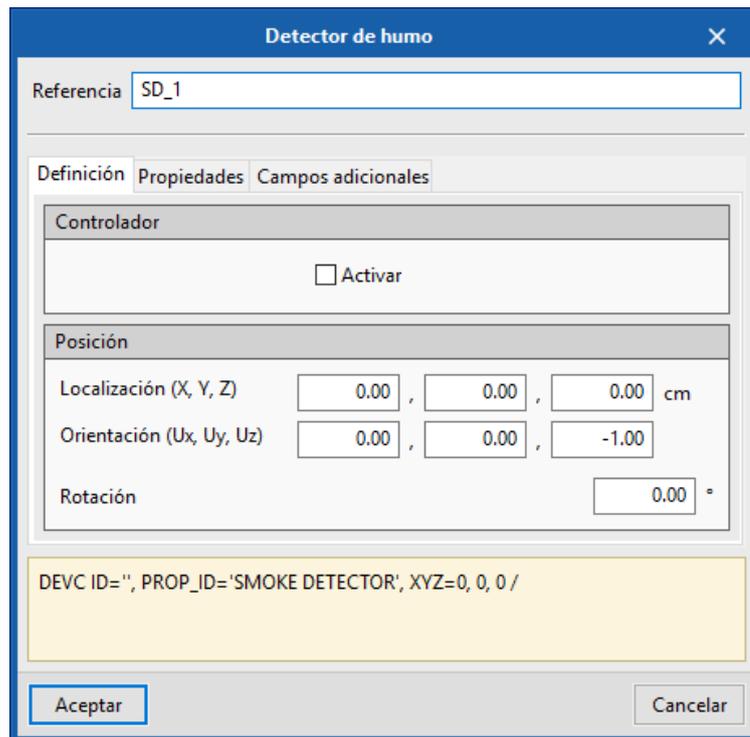


Fig. 56. Detector de humo, definición

3.14.5.2 *Propiedades*

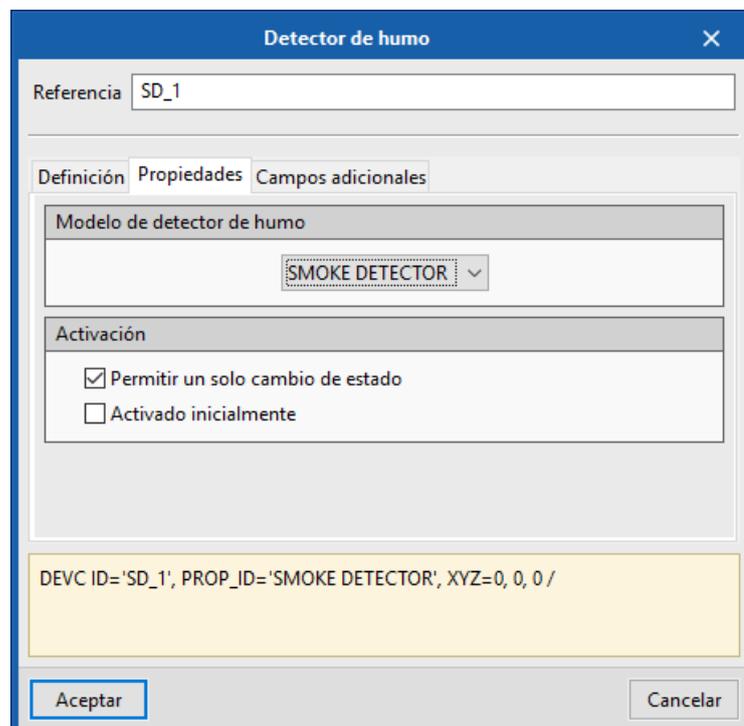


Fig. 57. Detector de humo, propiedades

Dentro de este grupo de parámetros se encuentran las características que definen el comportamiento general del detector de humo.

- **Modelo de detector de humo.** Indica el “Modelo de detector de humo”, previamente definido, cuyas propiedades se aplicarán al dispositivo.
- **Activación.**
 - **Permitir un solo cambio de estado.** Al activar esta opción, el detector de humo solo podrá cambiar de estado una única vez en la simulación.
 - **Activado inicialmente.** Al activar esta opción, se indica que el detector de humo está activado al comienzo de la simulación.

3.14.6 *Medidores de altura de la capa de humo*

3.14.6.1 *Definición*

Dentro de esta pestaña se precisan los parámetros generales que definen la ubicación y la activación del medidor de altura de la capa de humo.

- **Controlador.** FDS permite controlar la presencia de un medidor de altura de la capa de humo en la simulación en función de la respuesta de un control o dispositivo.
- **Posición.** Indica las coordenadas correspondientes a la localización del medidor de altura de la capa de humo en la escena.

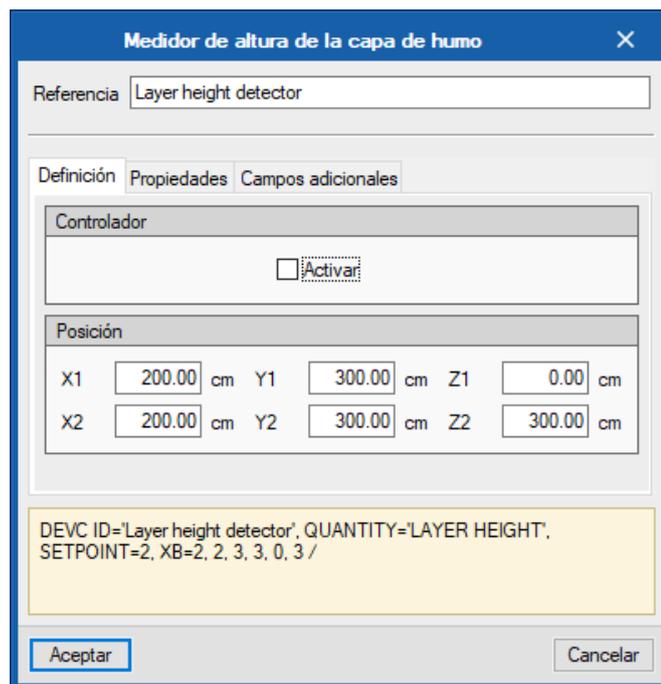
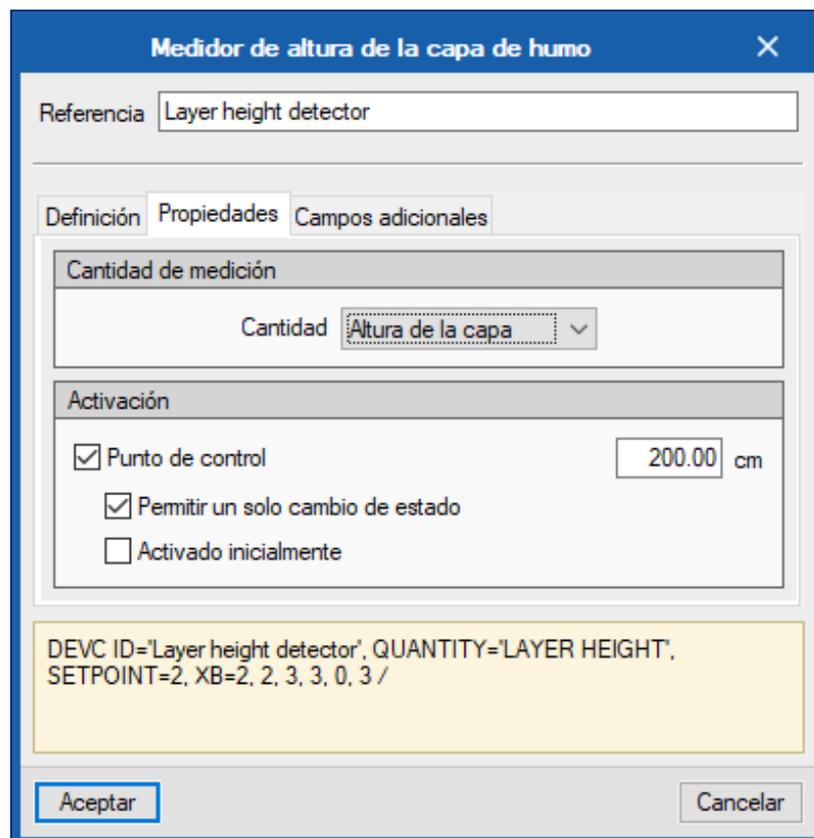


Fig. 58. Medidor de la capa de humo, definición

3.14.6.2 *Propiedades*

Dentro de este grupo de parámetros se encuentran las características que definen el comportamiento general del medidor de altura de la capa de humo.

- **Cantidad de medición.** Indica la cantidad a medir por el medidor de altura de la capa de humo (Altura de la capa, Temperatura máxima o Temperatura mínima).
- **Activación.** Es posible indicar un valor como “Punto de control” que indique cuando el medidor de altura de la capa de humo cambia de estado.
 - **Permitir un solo cambio de estado.** Al activar esta opción, el medidor de altura de la capa de humo solo podrá cambiar de estado una única vez en la simulación.
 - **Activado inicialmente.** Al activar esta opción, se indica que el medidor de altura de la capa de humo está activado al comienzo de la simulación.



Medidor de altura de la capa de humo

Referencia: Layer height detector

Definición | **Propiedades** | Campos adicionales

Cantidad de medición

Cantidad: Altura de la capa

Activación

Punto de control: 200.00 cm

Permitir un solo cambio de estado

Activado inicialmente

DEVC ID='Layer height detector', QUANTITY='LAYER HEIGHT', SETPOINT=2, XB=2, 2, 3, 3, 0, 3 /

Aceptar Cancelar

Fig. 59. Medidor de la capa de humo, propiedades

3.14.7 Termopares

3.14.7.1 Definición

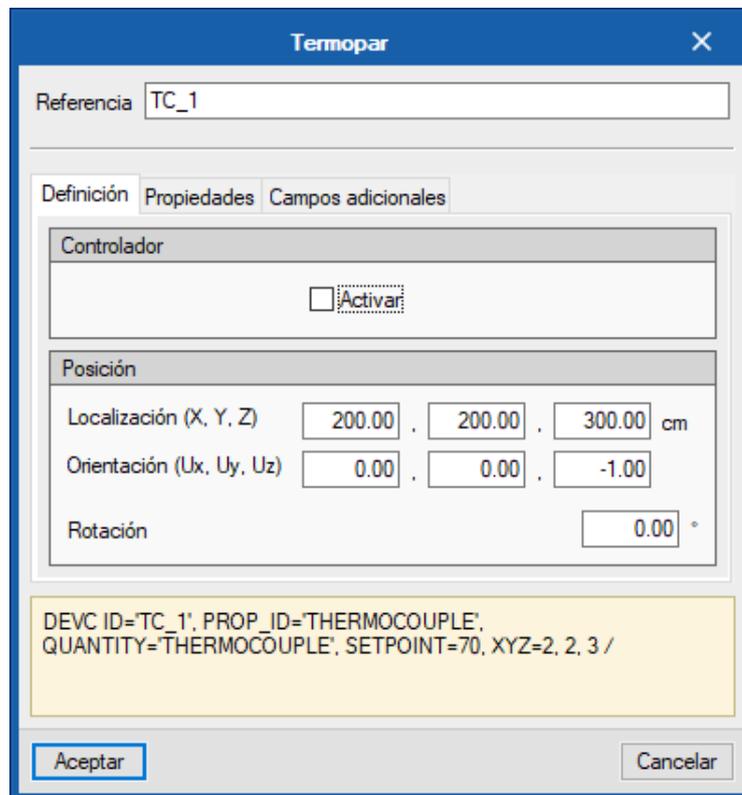


Fig. 60. Termopar, definición

Dentro de esta pestaña se precisan los parámetros generales que definen la ubicación y la activación del termopar.

- **Controlador.** FDS permite controlar la presencia de un termopar en la simulación en función de la respuesta de un control o dispositivo.
- **Posición.** Indica las coordenadas correspondientes a la localización del termopar en la escena, así como las componentes de su vector de dirección y su rotación.

3.14.7.2 Propiedades

Dentro de este grupo de parámetros se encuentran las características que definen el comportamiento general del termopar.

- **Modelo de termopar.** Indica el “Modelo de termopar”, previamente definido, cuyas propiedades se aplicarán al dispositivo.

- **Activación.** Es posible indicar un valor como “Punto de control” que indique cuando el termopar cambia de estado.
 - **Permitir un solo cambio de estado.** Al activar esta opción, el termopar solo podrá cambiar de estado una única vez en la simulación.
 - **Activado inicialmente.** Al activar esta opción, se indica que el termopar está activado al comienzo de la simulación.

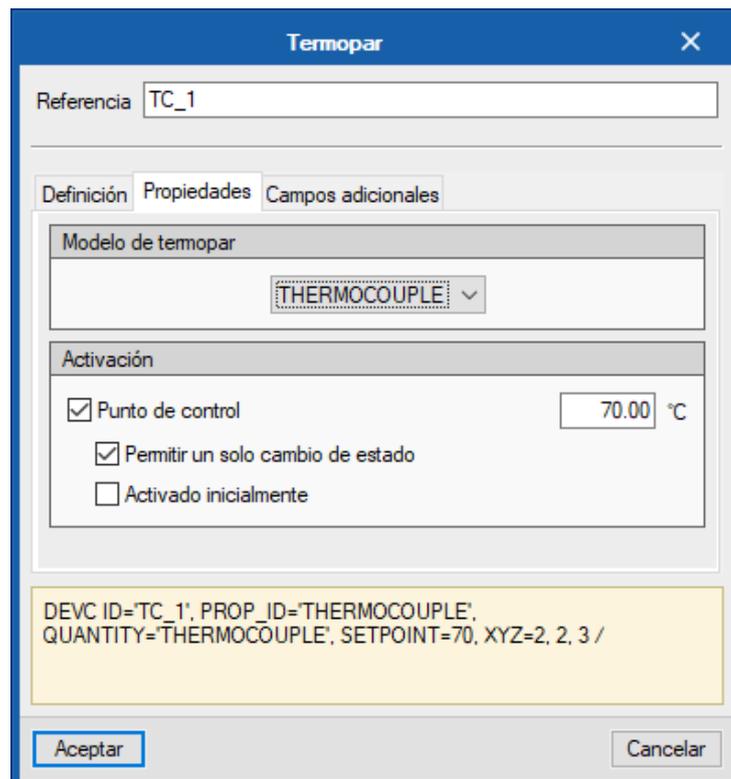


Fig. 61. Termopar, propiedades

3.14.8 Rociadores

3.14.8.1 Definición

- **Controlador.** FDS permite controlar la presencia de un rociador en la simulación en función de la respuesta de un control o dispositivo.
- **Posición.** Indica las coordenadas correspondientes a la localización del rociador en la escena, así como las componentes de su vector de dirección y su rotación.

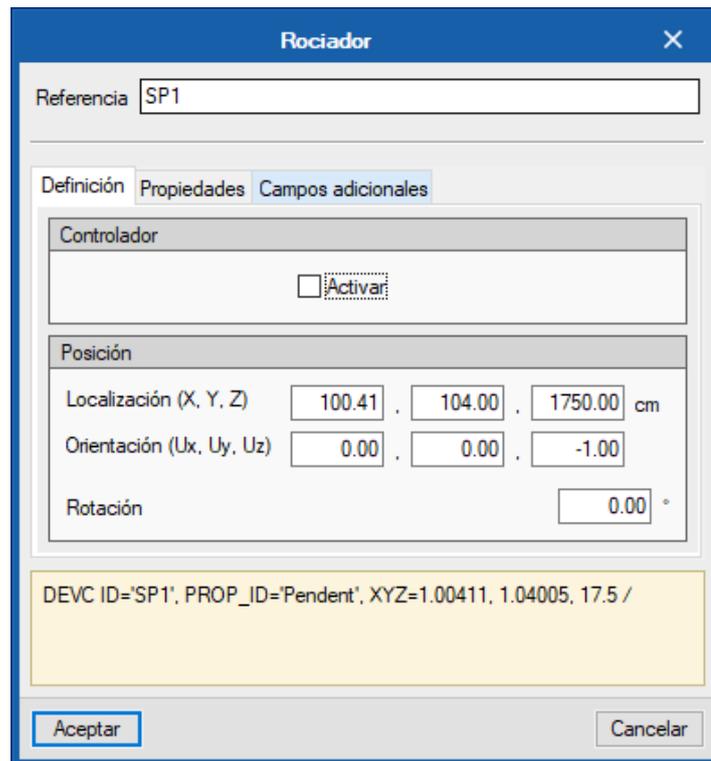


Fig. 62. Rociador, definición

3.14.8.2 *Propiedades*

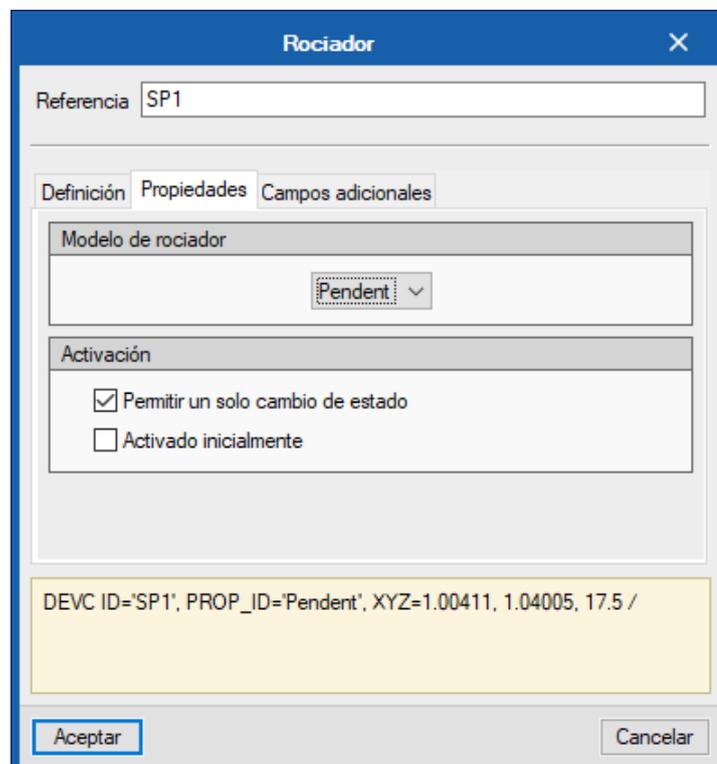


Fig. 63. Rociador, propiedades

- **Modelo de rociador.** Indica el “Modelo de rociador”, previamente definido, cuyas propiedades se aplicarán al dispositivo.
- **Activación.** Es posible limitar el estado lógico del dispositivo a un solo cambio, es decir, que el rociador pueda ponerse en funcionamiento pero no detenerse o viceversa. Además, se puede indicar que el dispositivo se encuentra activado al comienzo de la simulación.

3.14.9 *Boquillas*

3.14.9.1 *Definición*

- **Controlador.** FDS permite controlar la presencia de una boquilla en la simulación en función de la respuesta de un control o dispositivo.
- **Posición.** Indica las coordenadas correspondientes a la localización de la boquilla en la escena, así como las componentes de su vector de dirección y su rotación.

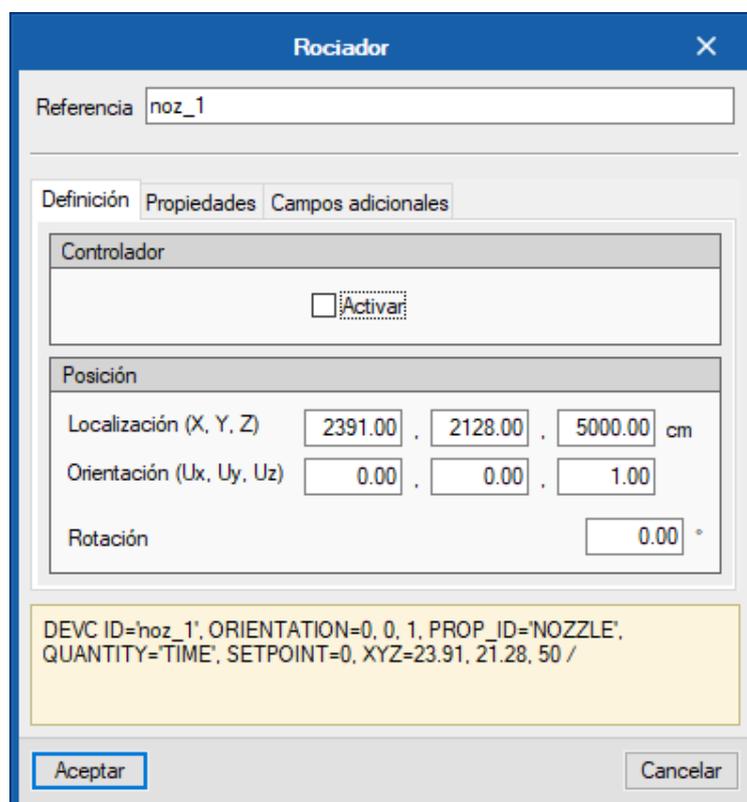


Fig. 64. Boquilla, definición

3.14.9.2 *Propiedades*

- **Modelo de boquilla.** Indica el “Modelo de boquilla”, previamente definido, cuyas propiedades se aplicarán al dispositivo.
- **Activación.** Indica en qué instante de la simulación se activará la boquilla.

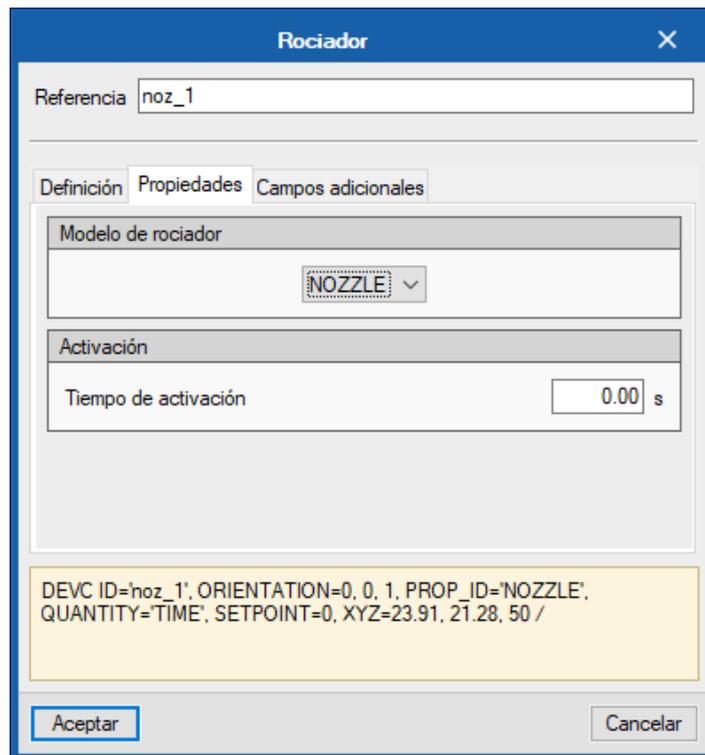


Fig. 65. Boquilla, propiedades

3.15 Controles

Los controles son mecanismos de control que permiten describir comportamientos de mayor complejidad que los dispositivos.

- **Función.** Indica el tipo de la función de control.
 - **ANY.** El estado del control cambia si alguno de los dispositivos o controles definidos como “Variables de entrada” está activado.
 - **ALL.** El estado del control cambia si todos los dispositivos o controles definidos como “Variables de entrada” está activado.
 - **ONLY.** El estado del control cambia si solo *N* de los dispositivos o controles definidos como “Variables de entrada” están activados. El valor de *N* se introduce a través del campo “Número mínimo de variables”.

- **AT_LEAST.** El estado del control cambia si al menos N de los dispositivos o controles definidos como "Variables de entrada" están activados. El valor de N se introduce a través del campo "Número mínimo de variables".
- **TIME_DELAY.** El estado del control cambia al transcurrir un intervalo de tiempo ("Tiempo de retardo") desde que el dispositivo o control definido como "Variable de entrada" se activa.
- **CUSTOM.** El estado del control cambia en base al resultado de la función de rampa introducida como "Variable de entrada".
- **DEADBAND.** El estado del control cambia en base al valor del dispositivo definido como "Variable de entrada" de forma análoga al funcionamiento de un termostato. Si el valor del parámetro "Cota" es "Inferior" el estado del control cambiara cuando el valor de la "Variable de entrada" caiga por debajo del "Punto de control inferior". El funcionamiento contrario ocurrirá cuando el valor de "Cota" sea "Superior".
- **KILL.** La simulación se interrumpirá cuando el dispositivo o control definido como "Variable de entrada" esté activado.
- **RESTART.** Se generará un fichero *restart* cuando el dispositivo o control definido como "Variable de entrada" esté activado. De esta forma, se podrá reiniciar posteriormente la simulación desde este punto.
- **SUM.** El valor del control es la suma de los dispositivos, controles y, opcionalmente, la constante definidos como "Variables de entrada".
- **SUBTRACT.** El valor del control es la resta del dispositivo, control o constante definido como "Sustraendo" al valor del dispositivo, control o constante definido como "Minuendo".
- **MULTIPLY.** El valor del control es la multiplicación de los dispositivos, controles y, opcionalmente, la constante definidos como "Variables de entrada".
- **DIVIDE.** El valor del control es la división del dispositivo, control o constante definido como "Divisor" al valor del dispositivo, control o constante definido como "Dividendo".
- **POWER.** El valor del control es el resultado de la potencia con base igual al valor del dispositivo o control definido como "Base" y exponente igual al valor del dispositivo o control definido como "Exponente".
- **EXP.** El valor del control es el exponencial del dispositivo o control definido como "Variable de entrada".
- **LOG.** El valor del control es el logaritmo natural del dispositivo o control definido como "Variable de entrada".

- **COS.** El valor del control es el coseno del dispositivo o control definido como “Variable de entrada”.
- **SIN.** El valor del control es el seno del dispositivo o control definido como “Variable de entrada”.
- **ACOS.** El valor del control es el arcocoseno del dispositivo o control definido como “Variable de entrada”.
- **ASIN.** El valor del control es el arcoseno del dispositivo o control definido como “Variable de entrada”.
- **PID.** Una función de control PID (*Proportional Integral Derivative*) es un controlador de retroalimentación comúnmente utilizado para controlar sistemas eléctricos y mecánicos. La función calcula un error entre una variable del proceso (“Variable de entrada”) y un punto de ajuste deseado (“Punto de control”). El objetivo de la función PID es minimizar el error. Una función de control PID se calcula como:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + \frac{K_d de(t)}{dt}$$

Donde:

K_p : Ganancia proporcional

K_i : Ganancia integral

K_d : Ganancia derivativa

$e(t)$: Valor objetivo

$u(t)$: Valor de salida

- **Propiedades.**

- **Dirección del desplazamiento.** Un valor positivo de dirección indica que el control cambiará su estado inicial cuando su resultado sea superior al del punto de control y poseerá su estado inicial cuando sea inferior. Un valor negativo de dirección producirá un comportamiento inverso. El control cambiará su estado inicial cuando su resultado sea inferior al del punto de control y poseerá su estado inicial cuando sea superior.
- **Permitir un solo cambio de estado.** Al activar esta opción, el control solo podrá cambiar de estado una única vez en la simulación.
- **Activado inicialmente.** Al activar esta opción, se indica que el control está activado al comienzo de la simulación.
- **Punto de control.** Es el valor de la función de control donde el control cambia de estado. Solo se debe indicar en funciones que devuelvan un valor numérico.

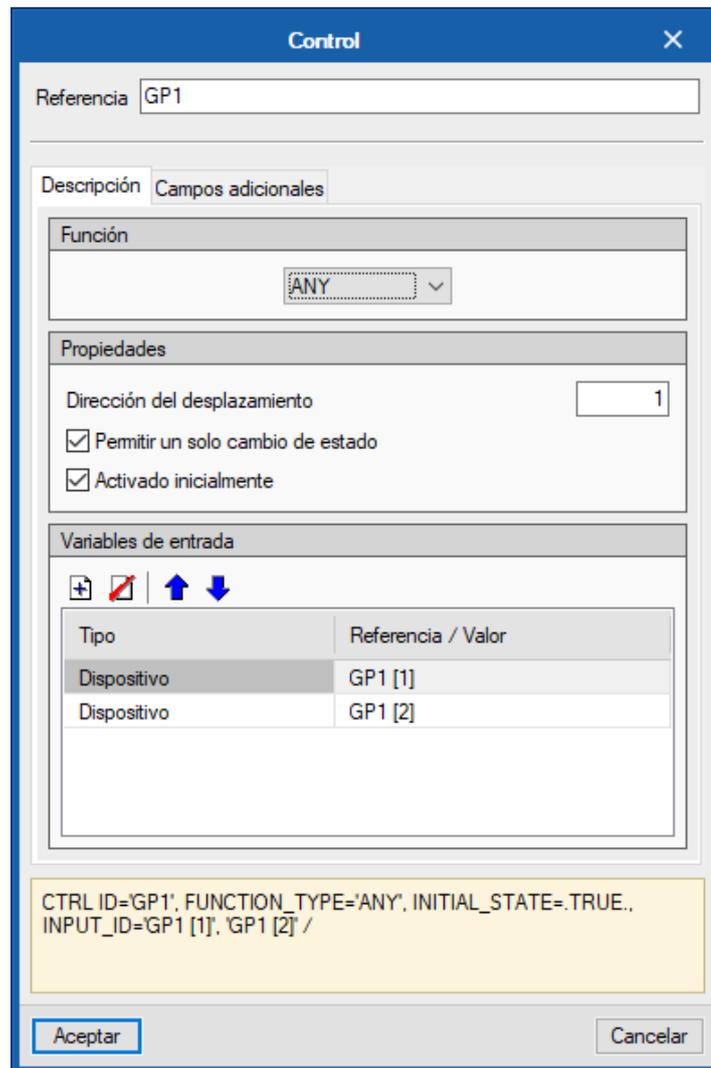


Fig. 66. Control

3.16 Secciones

Las secciones son entidades del motor de cálculo FDS que permiten obtener el valor de varias cantidades gaseosas en más de un punto.

3.16.1.1 Descripción

- **Geometría.** Indica si el área de medición es un plano perpendicular a uno de los ejes globales de la escena o si se desea especificar el área de medición manualmente. El área de medición puede ser un volumen, un plano o una línea.
- **Posición.** Indica la altura del plano, si se trata un plano perpendicular a los ejes globales de la obra, o los límites del área de medición.

3.16.1.2 *Propiedades*

- **Cantidad de medición.** Indica la cantidad a medir por la sección.
- **Propiedades generales.**
 - **Generar vectores.** Al activar esta opción, se generarán vectores animados que podrán ser visualizados en Smokeview una vez haya finalizado la simulación. Si dos secciones se encuentran en el mismo plano solo se debe activar esta opción en una de ellas. De lo contrario, se generará una sección extra de velocidad.
 - **Obtener los datos para el centro de las celdas.** Por defecto, el motor de cálculo FDS calcula los resultados de las secciones en las esquinas de las celdas. Al activar esta opción, estos valores se obtendrán para el centro de las celdas.

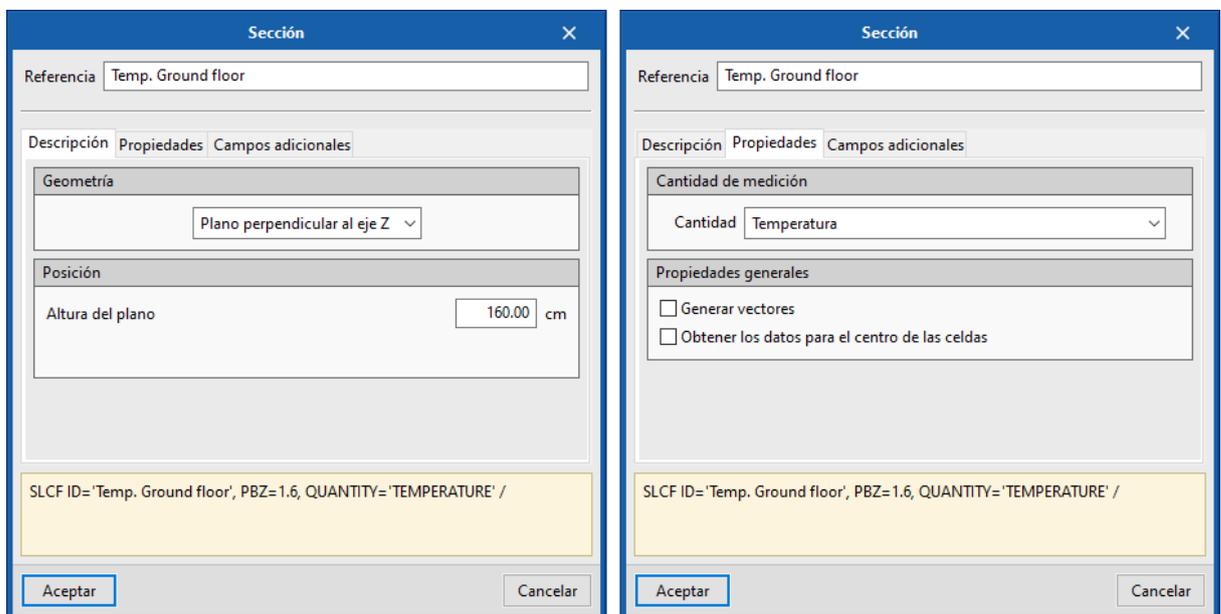


Fig. 67. Sección, descripción y propiedades

4 Simulación

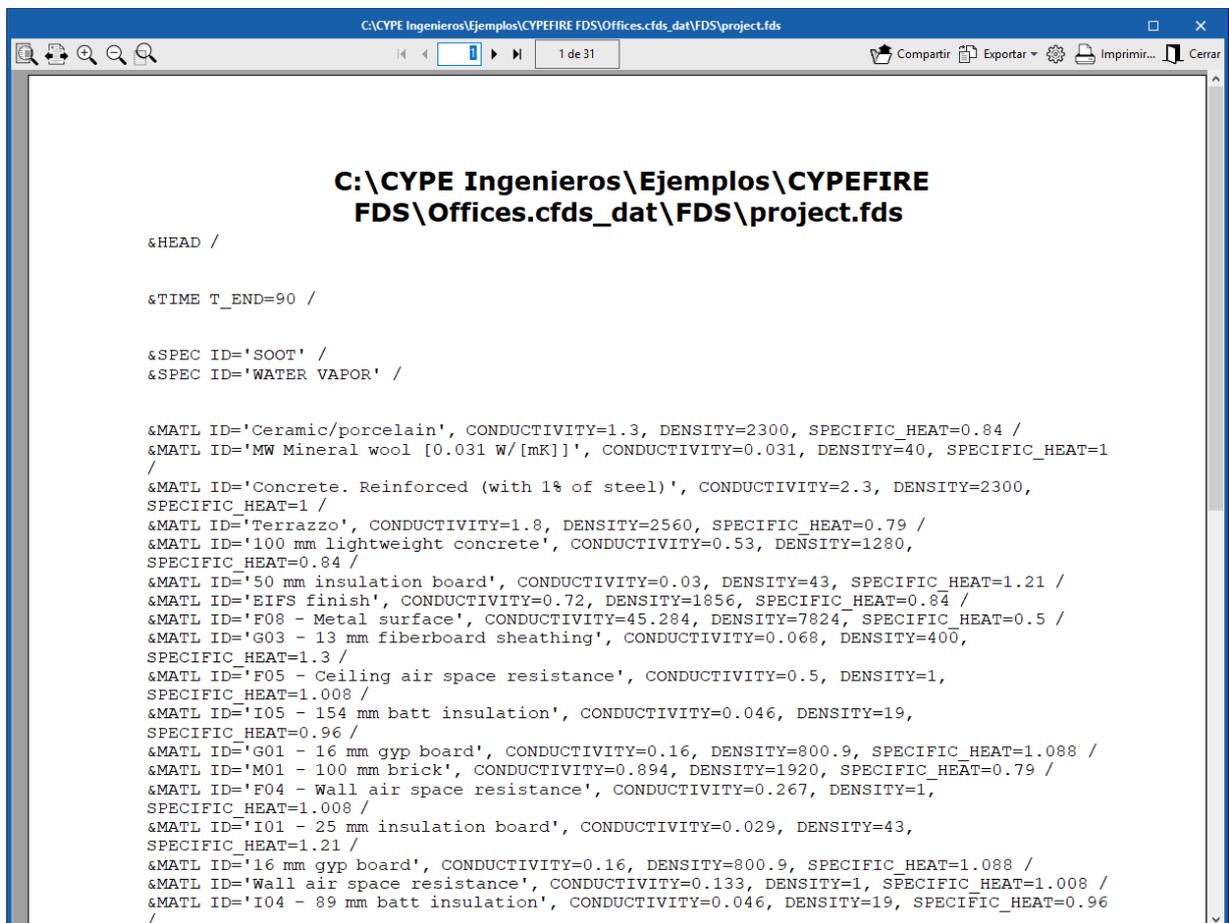
Una vez completada la introducción y definición de todos los elementos que componen la simulación del incendio pase al siguiente apartado.

4.1 Análisis/Cálculo

Para el Análisis/Cálculo del modelo creado, CYPEFIRE FDS dispone de diferentes herramientas que ayudan al usuario a resolver este apartado.

4.1.1 *Fichero FDS*

Aquí se puede ver el fichero .fds que se ha generado definiendo las características de la simulación y que puede ser analizado con cualquier editor de texto. Puede visualizar la ruta en la que se encuentra, como se muestra en la imagen.



```
C:\CYPE Ingenieros\Ejemplos\CYPEFIRE FDS\Offices.cfds_dat\FDS\project.fds

&HEAD /

&TIME T_END=90 /

&SPEC ID='SOOT' /
&SPEC ID='WATER VAPOR' /

&MATL ID='Ceramic/porcelain', CONDUCTIVITY=1.3, DENSITY=2300, SPECIFIC_HEAT=0.84 /
&MATL ID='MW Mineral wool [0.031 W/[mK]]', CONDUCTIVITY=0.031, DENSITY=40, SPECIFIC_HEAT=1 /
&MATL ID='Concrete. Reinforced (with 1% of steel)', CONDUCTIVITY=2.3, DENSITY=2300, SPECIFIC_HEAT=1 /
&MATL ID='Terrazzo', CONDUCTIVITY=1.8, DENSITY=2560, SPECIFIC_HEAT=0.79 /
&MATL ID='100 mm lightweight concrete', CONDUCTIVITY=0.53, DENSITY=1280, SPECIFIC_HEAT=0.84 /
&MATL ID='50 mm insulation board', CONDUCTIVITY=0.03, DENSITY=43, SPECIFIC_HEAT=1.21 /
&MATL ID='EIFS finish', CONDUCTIVITY=0.72, DENSITY=1856, SPECIFIC_HEAT=0.84 /
&MATL ID='F08 - Metal surface', CONDUCTIVITY=45.284, DENSITY=7824, SPECIFIC_HEAT=0.5 /
&MATL ID='G03 - 13 mm fiberboard sheathing', CONDUCTIVITY=0.068, DENSITY=400, SPECIFIC_HEAT=1.3 /
&MATL ID='F05 - Ceiling air space resistance', CONDUCTIVITY=0.5, DENSITY=1, SPECIFIC_HEAT=1.008 /
&MATL ID='I05 - 154 mm batt insulation', CONDUCTIVITY=0.046, DENSITY=19, SPECIFIC_HEAT=0.96 /
&MATL ID='G01 - 16 mm gyp board', CONDUCTIVITY=0.16, DENSITY=800.9, SPECIFIC_HEAT=1.088 /
&MATL ID='M01 - 100 mm brick', CONDUCTIVITY=0.894, DENSITY=1920, SPECIFIC_HEAT=0.79 /
&MATL ID='F04 - Wall air space resistance', CONDUCTIVITY=0.267, DENSITY=1, SPECIFIC_HEAT=1.008 /
&MATL ID='I01 - 25 mm insulation board', CONDUCTIVITY=0.029, DENSITY=43, SPECIFIC_HEAT=1.21 /
&MATL ID='16 mm gyp board', CONDUCTIVITY=0.16, DENSITY=800.9, SPECIFIC_HEAT=1.088 /
&MATL ID='Wall air space resistance', CONDUCTIVITY=0.133, DENSITY=1, SPECIFIC_HEAT=1.008 /
&MATL ID='I04 - 89 mm batt insulation', CONDUCTIVITY=0.046, DENSITY=19, SPECIFIC_HEAT=0.96 /
```

Fig. 68. Fichero FDS

4.1.2 *Comprobar errores*

Esta herramienta es muy útil antes de comenzar la simulación, ya que el (proceso puede requerir mucho tiempo de cálculo,) y comprobar que existen errores graves previos que impidan realizar correctamente el análisis es una gran ventaja.

4.1.3 *Smokeview*

Smokeview es una herramienta diseñada para representar visualmente los datos obtenidos tras analizar el fichero .fds a través del fichero generado *project.smv*. Al iniciar la *Simulación* en la barra de herramientas principal se lanzará automáticamente Smokeyview.

Smokeyview se usa antes, durante y después de la simulación del modelo. Smokeyview se puede utilizar antes de iniciar la simulación para comprobar que el modelo es correcto (t=0 s.) y durante el proceso de cálculo para monitorizar el progreso de la simulación.

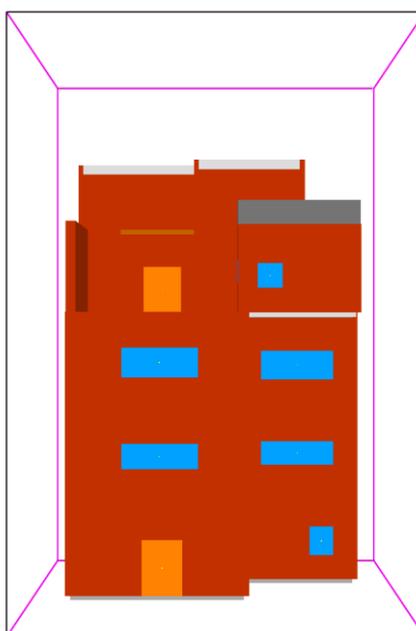


Fig. 69. Visor Smokeyview

4.2 Gráficas

Una vez finalizada la simulación se puede acceder a las *Gráficas* desde la barra de herramientas principal del programa.

En estas gráficas (Fig. 70) puede observar la evolución de diferentes parámetros que se miden en la simulación (calor libertado, calor por radiación, calor por convección), así como el funcionamiento de los dispositivos y los controles introducidos.

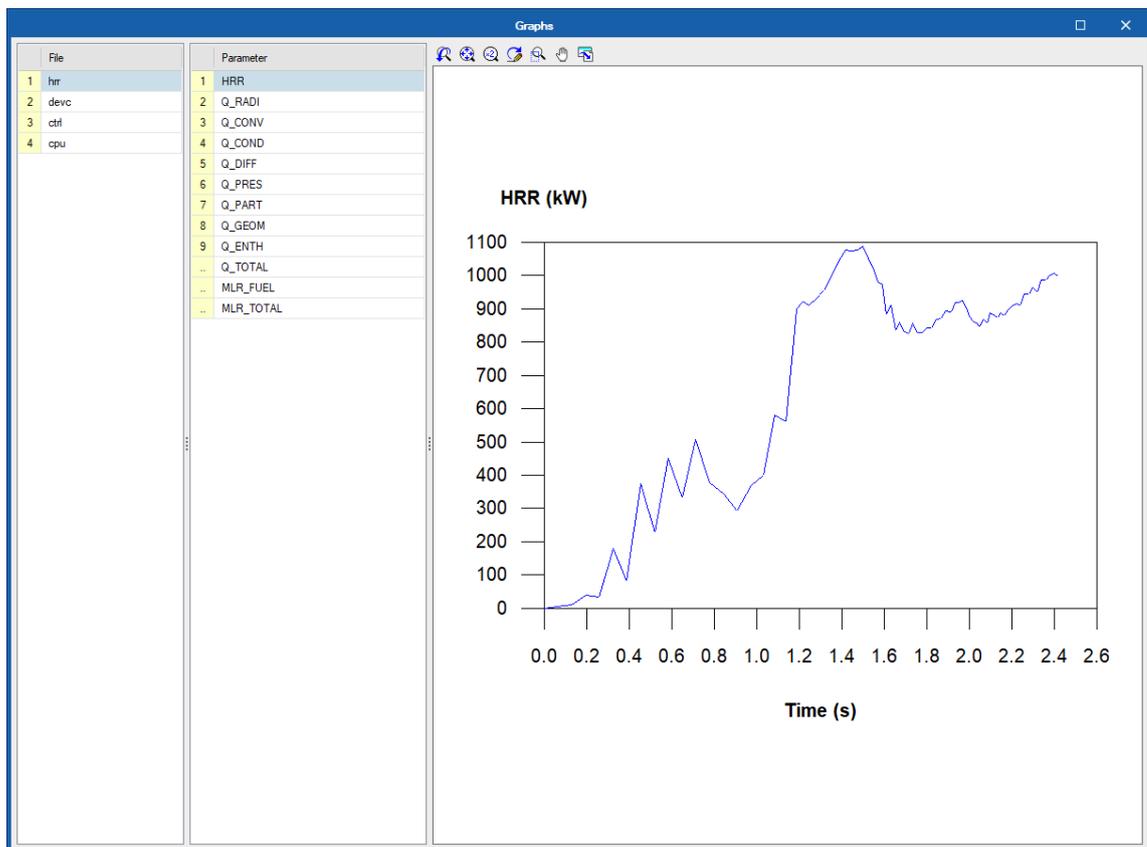


Fig. 70. Salida de resultados, evolución de los parámetros medidos en la simulación

Contacto

La configuración de un proyecto, la navegación a través de la interfaz de usuario, el diseño dentro del software y la obtención de resultados basados en el diseño se deben conocer después de completar este manual para CYPEFIRE FDS. Si todavía tiene preguntas, problemas o necesita más información, visite nuestro sitio web o comuníquese con CYPE.

CYPE Ingenieros

Avda. de Loring, 4
03003 Alicante - Spain
Tel. (+34) 965 92 25 50
cype@cype.com

CYPE Italia

Tel. (+39) 06 94 803 504
Tel. (+39) 06 94 800 227
supporto.italia@cype.com

North America & United Kingdom Contact:

USA (+1) 202 569 8902
UK (+44) 20 3608 1448
support@cype.com

CYPE em Portugal

(TOP Informática, Lda.)
Tel. (+351) 253 209 430
geral@top-informatica.pt

CYPE France

Tel. (+33) 2 30 96 1744
Fax (+33) 2 22 44 2508
cype.france@cype.com

Referencias

McGrattan, K., Hostikka, S., McDermott, R., Floyd, J., & Vanella, M. (2018). *Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide* (NIST Special Publication 1018-1 Sixth Edition ed., Vol. Mathematical Model).

McGrattan, K., Hostikka, S., McDermott, R., Floyd, J., Weinschenk, C., & Overholt, K. (2016). *Fire Dynamics Simulator User's Guide* (NIST Special Publication 1019 Sixth Edition ed.).