cottès

LIFE SAVING SOLUTIONS

Modelos de simulación informática para el análisis de la evacuación de personas en situación de emergencia

30 de Octubre de 2013

COTTÉS GROUP

ÍNDICE :

- **BLOQUE I:** NECESIDAD DE APLICACIÓN DE MSI PARA EVACUACIÓN DE PERSONAS EN SITUACIÓN DE INCENDIO
- **BLOQUE II:** MÉTODO PARA EL ANÁLISIS DE LA EVACUACIÓN DE PERSONAS EN EDIFICIOS DE PÚBLICA CONCURRENCIA
- **BLOQUE III:** APLICACIÓN PRÁCTICA DEL MÉTODO

cottes
LIFE SAVING SOLUTIONS

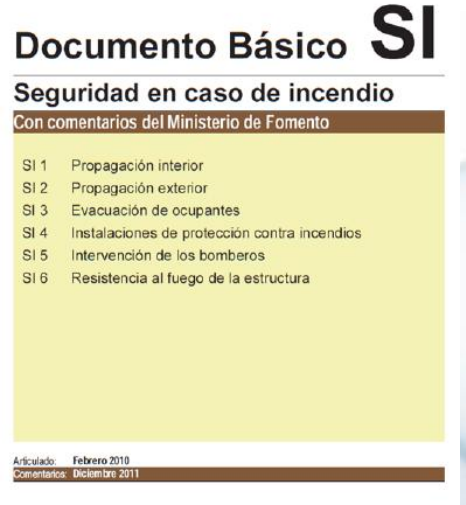
ÍNDICE :

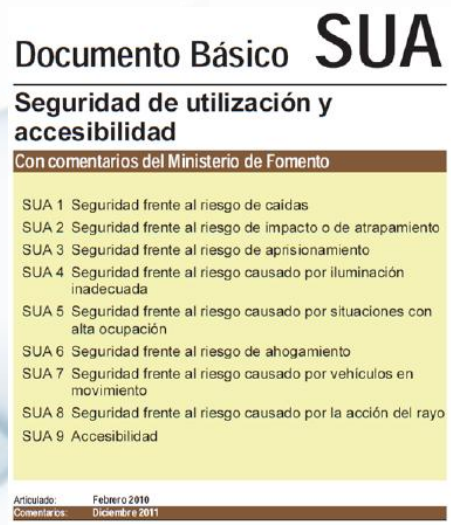
- **BLOQUE I:** NECESIDAD DE APLICACIÓN DE MSI PARA EVACUACIÓN DE PERSONAS EN SITUACIÓN DE INCENDIO
- **BLOQUE II:** MÉTODO PARA EL ANÁLISIS DE LA EVACUACIÓN DE PERSONAS EN EDIFICIOS DE PÚBLICA CONCURRENCIA
- **BLOQUE III:** APLICACIÓN PRÁCTICA DEL MÉTODO

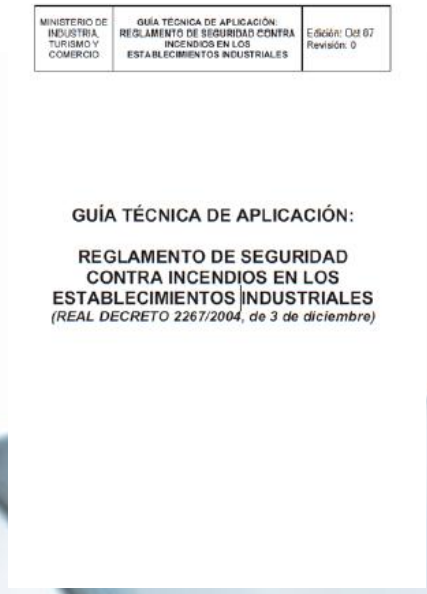
cottes
LIFE SAVING SOLUTIONS

BLOQUE I: NECESIDAD DE APLICACIÓN DE MSI PARA EVACUACIÓN DE PERSONAS EN SITUACIÓN DE INCENDIO

- En España existen normativas de obligado cumplimiento que regulan diferentes aspectos a tener en cuenta en los procesos de evacuación:
    - DB SI-3: Evacuación de Ocupantes
    - DB SUA
    - RSCIEI: Anexo II (6_Evacuación de los establecimientos industriales)
    - Ley de espectáculos públicos, actividades recreativas y establecimientos públicos







cottes
LIFE SAVING SOLUTIONS

BLOQUE I: NECESIDAD DE APLICACIÓN DE MSI PARA EVACUACIÓN DE PERSONAS EN SITUACIÓN DE INCENDIO

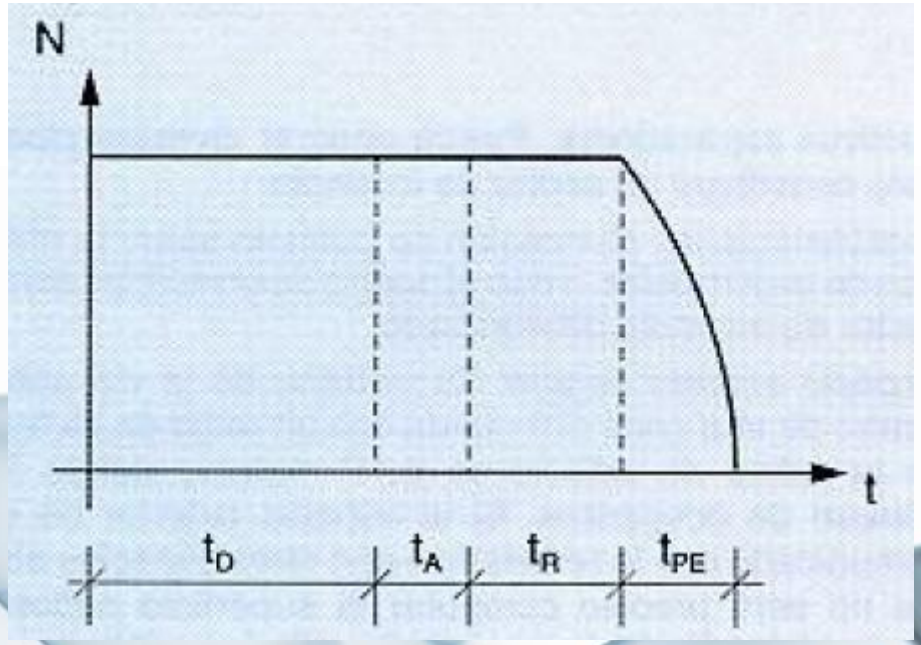
- En estos documentos se describe:
    - Recorridos de Evacuación
    - Anchura de los elementos de los recorridos
    - Señalética
    - Ocupación
    - Instalaciones
- No se existe ninguna normativa de obligado cumplimiento que trate a cuánto puede ascender el tiempo de evacuación

cottes
LIFE SAVING SOLUTIONS

BLOQUE I: NECESIDAD DE APLICACIÓN DE MSI PARA EVACUACIÓN DE PERSONAS EN SITUACIÓN DE INCENDIO

- Fuera de las normativas de obligado cumplimiento, se tienen documentos donde aparece el concepto de tiempo de evacuación.

- El INSHT publica una note técnica con referencia NTP 436 donde se describe el tiempo de evacuación como la suma de 4 parámetros:



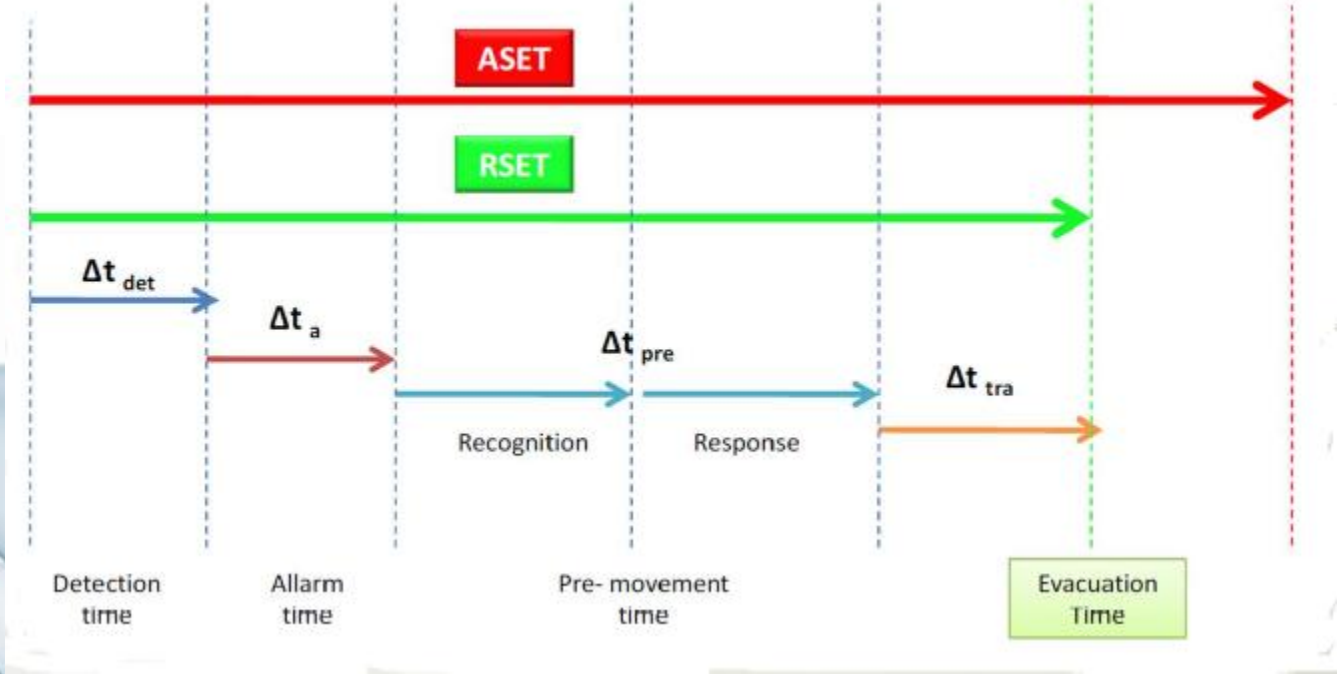
- Tiempo de detección
- Tiempo de alarma
- Tiempo de reacción
- Tiempo propio de evacuación

cottes
LIFE SAVING SOLUTIONS

BLOQUE I: NECESIDAD DE APLICACIÓN DE MSI PARA EVACUACIÓN DE PERSONAS EN SITUACIÓN DE INCENDIO

- La European Guideline no sólo introduce el tiempo empleado en la evacuación, sino también el tiempo máximo del que se dispone para realizarla.

- Introduce los conceptos de RSET (Requiered Safety Egress Time) y de ASET (Available Safety Egress Time)



cottes
LIFE SAVING SOLUTIONS

BLOQUE II: MÉTODO PARA EL ANÁLISIS DE LA EVACUACIÓN DE PERSONAS EN EDIFICIOS DE PÚBLICA CONCURRENCIA

- El método propuesto por la European Guideline consiste en verificar que se cumple:

ASET > RSET

- MODELOS DE SIMULACIÓN INFORMÁTICA:

  - ASET

  Obtención condiciones ambientales → Comportamiento del humo

  - RSET

  Obtención del tiempo de evacuación → Comportamiento de los ocupantes

cottes
LIFE SAVING SOLUTIONS

ÍNDICE :

- BLOQUE I: NECESIDAD DE APLICACIÓN DE MSI PARA EVACUACIÓN DE PERSONAS EN SITUACIÓN DE INCENDIO
- **BLOQUE II: MÉTODO PARA EL ANÁLISIS DE LA EVACUACIÓN DE PERSONAS EN EDIFICIOS DE PÚBLICA CONCURRENCIA**
- BLOQUE III: APLICACIÓN PRÁCTICA DEL MÉTODO

cottes
LIFE SAVING SOLUTIONS

1_Obtención del ASET

- El ASET se define como el tiempo durante el cual las condiciones ambientales sobre los recorridos de evacuación se mantienen dentro de límites de salubridad.

- A través del software informático **FDS (Fire Dynamics Simulator)**, se resuelve el comportamiento del humo en un determinado Escenario de Incendio:

  - Edificio: Geometría, materiales e instalaciones de PCI
  - Incendio de diseño: curva de liberación de calor y ubicación

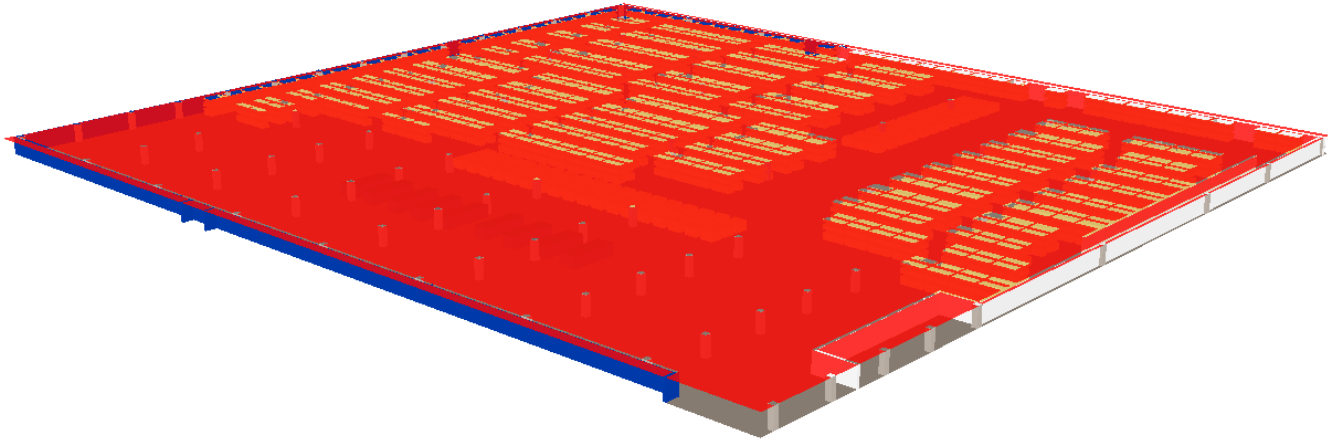
- En consenso con las **partes implicadas** en el estudio se fijan los intervalos o valores límite que van a ser estudiados en referencia a las condiciones ambientales

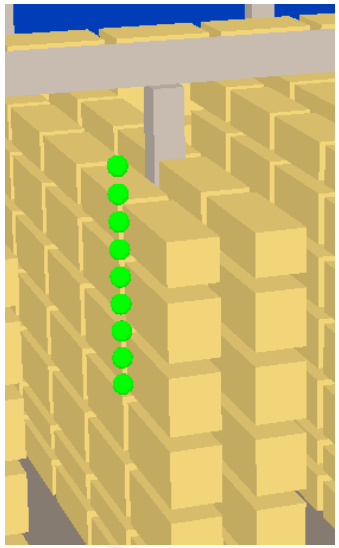
1_Obtención del ASET (Criterios de Aceptación)

- El ASET lo marcará el tiempo durante el que se cumplan las exigencias ambientales acordadas:
  - Temperatura inferior a 50ºC
  - Concentración de O_2 inferior al 18%
  - Concentración de CO inferior a 400 ppm
  - Concentración de CO_2 inferior a 0,03 mol/mol
  - Radiación térmica inferior a 5 kW/m^2
  - Nivel de visibilidad superior a 10 m.l.
- Como valores de referencia se toman los del límite umbral TLV (Threshold Limit Value) publicados por A.C.G.I.H. Para exposiciones en situación extraordinaria se toman los límites TLV-STEL (exposiciones puntuales)

1_Obtención del ASET (Criterios de Aceptación)

FDS incorpora la posibilidad de reflejar los parámetros requeridos sobre planos o mediante sensores registrar su evolución temporal





2_Obtención del RSET

- El RSET se define como el tiempo empleado por los ocupantes de un establecimiento en abandonarlo evaluado desde el inicio del incendio.

$$t_E = t_D + t_A + t_R + t_{PE}$$

- A través del software informático **PathFinder**, se resuelve el comportamiento de las personas en el establecimiento:
  - Edificio: Geometría
  - Características ocupantes
- El tiempo de detección (t_D) se relaciona con la densidad del humo, y por lo tanto se obtiene a través del FDS (comportamiento del humo).
- El tiempo de alarma viene dado por el propio sistema de detección y la gestión de la seguridad del establecimiento.

2_Obtención del RSET (Características de los ocupantes)

- Según se deriva de la European Guideline, que a su vez se recoge en la norma británica PD 7974-6:2000, sobre el tiempo de reacción influyen:
  - Sistema de alarma
  - Tipo de ocupación
  - Complejidad del edificio
  - Nivel de entrenamiento de los ocupantes
- Por su parte, en el tiempo propio de evacuación influye:
  - Ocupación del establecimiento
  - Edad, sexo y forma física (velocidad, ancho)

2_Obtención del RSET (Características de los ocupantes, tiempo de reacción)

- Sistema de Alarma: A1, A2, A3
  - A1: Sistema de detección automático (t_A= 0 min)
  - A2: Sistema de detección automático con sistema de prealarma (t_A= 2-5 min)
  - A3: Sistema de pulsadores manuales (t_A= indefinido)
- Complejidad del edificio: B1, B2, B3
  - B1: Única planta, diseño sencillo y salidas directas al exterior (supermercado)
  - B2: Varias plantas, diseño de acuerdo a prescripciones (bloques de oficinas)
  - B3: Dificultad para encontrar vías de evacuación (aeropuertos)

2_Obtención del RSET (Características de los ocupantes, tiempo de reacción)

- Nivel de entrenamiento de los ocupantes: M1, M2, M3

  - M1:

  Ocupantes habituales entrenados
  Staff de emergencia
  Buen nivel de mantenimiento
  Auditado externamente

  - M2:

  Ocupantes habituales entrenados
  Staff no siempre presente
  Buen nivel de mantenimiento
  No auditado

  - M3:

  Edificio estándar
  Condiciones mínimas de PCI

2_Obtención del RSET (Características de los ocupantes, tiempo de reacción)

- Tipo de ocupación: A, B1, B2, C_i, C_{ii}, C_{iii}, D, E

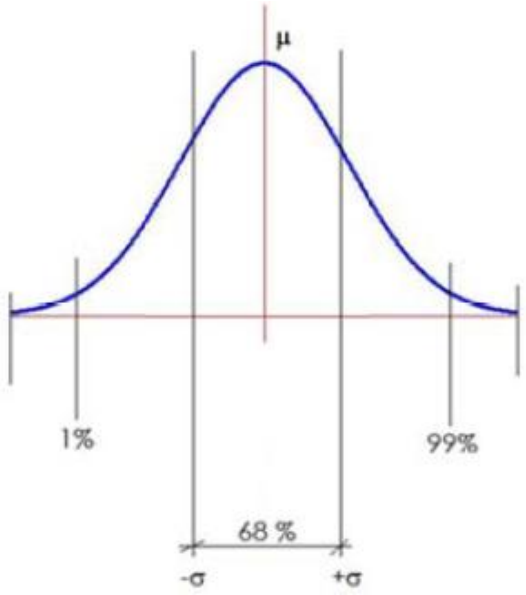
Category	Occupant alertness	Occupant familiarity	Occupant density	Enclosures/complexity	Examples
A	Awake	Familiar	Low	One or many	Office or industrial
B1	Awake	Unfamiliar	High	One or few	Shop,restaurant,circulation space Cinema,theatre
B2	Awake	Unfamiliar	High	One with focal point	
Ci	Asleep	Familiar	Low	Few	Dwelling
Cii	Managed occupancy				Serviced flats,halls of residence,etc.
Ciii	Asleep	Unfamiliar	Low	Many	Hotel,hostel
D	Medical care	Unfamiliar	Low	Many	Residential
E	Transportation	Unfamiliar	High	Many	Railway station/Airport

cottes
LIFE SAVING SOLUTIONS

2_Obtención del RSET (Características de los ocupantes, tiempo de reacción)

- Con todos los parámetros definidos, se tiene una tabla con la definición del primer percentil y el percentil 99

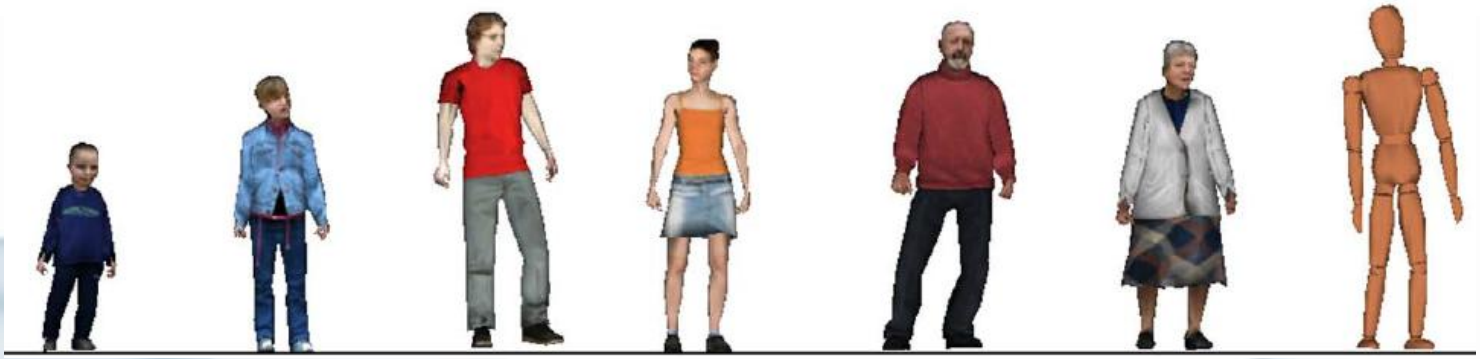
Scenario category and modifier	First occupants Δt_{pre} (1st percentile)	Occupant distribution Δt_{pre} (99th percentile)*
A: awake and familiar		
M1 B1 – B2 A1 – A2	0.5	1.0
M2 B1 – B2 A1 – A2	1	2
M3 B1 – B2 A1 – A3	*>15*	*>15*
For B3, add 0.5 for wayfinding		
M1 would normally require voice alarm/PA if unfamiliar visitors likely to be present		
B: awake and unfamiliar		
M1 B1 A1 – A2	0.5	2
M2 B1 A1 – A2	1.0	3
M3 B1 A1 – A3	*>15*	*>15*
For B2 add 0.5 for wayfinding		
For B3 add 1.0 for wayfinding		
M1 would normally require voice alarm/PA		
Ci: sleeping and familiar		
(e.g. dwellings – individual occupancy)		
M2 B1 A1	*5*	*5*
M3 B1 A3	*10*	*>20*
For other units in a block assume one hour		
Cii: managed occupancy		
(e.g. serviced apartments, hall of residence)		
M1 B2 A1 – A2	*10*	*20*
M2 B2 A1 – A2	*15*	*25*
M3 B2 A1 – A3	*>20*	*>20*
Ciii sleeping and unfamiliar		
(e.g. hotel, boarding house)		
M1 B2 A1 – A2	*15*	*15*
M2 B2 A1 – A2	*20*	*20*
M3 B2 A1 – A3	*>20*	*>20*
For B3, add 1.0 for wayfinding		
M1 would normally require voice alarm/PA		
D: medical care		
Awake and unfamiliar (e.g. day centre, clinic, surgery, dentist)		
M1 B1 A1 – A2	0.5	2
M2 B1 A1 – A2	1.0	3
M3 B1 A1 – A3	*>15*	*>15*
For B2 add 0.5 for wayfinding		
For B3 add 1.0 for wayfinding		
M1 would normally require voice alarm/PA		
Sleeping and unfamiliar (e.g. hospital ward, nursing home, old peoples' home)		
M1 B2 A1 – A2	5[b]	10[b]
M2 B2 A1 – A2	10[b]	20[b]
M3 B2 A1 – A3	*>10*[b]	*>20*[b]
For B3 add 1.0 for wayfinding		
M1 would normally require voice alarm/PA		
E: transportation (e.g. railway, bus station or airport)		
Awake and unfamiliar		
M1 B3 A1 – A2	1.5	4
M2 B3 A1 – A2	2.0	5
M3 B3 A1 – A3	*>15*	*>15*
M1 and M2 would normally require voice alarm/PA		



cottes
LIFE SAVING SOLUTIONS

2_Obtención del RSET (Características de los ocupantes, tiempo propio de evacuación)

- Edad, sexo → Ancho del cuerpo y la velocidad
  - Recurriendo a estudios realizados o mediante consenso con las partes implicadas se establece un reparto porcentual de la ocupación en cuanto a edad y sexo



2_Obtención del RSET (Características de los ocupantes, tiempo propio de evacuación)

- Edad, sexo → Ancho del cuerpo y la velocidad

Population	Breadth (cm)	Depth (cm)	Area (m2)
British Males	51.00	32.50	0.26
British Females	43.50	30.50	0.21
Polish Males	47.50	27.50	0.21
Polish Females	41.00	28.50	0.18
Japanese Males	41.00	28.50	0.18
Japanese Females	42.50	23.50	0.16
Hong Kong Males	47.00	23.50	0.17
Hong Kong Females	43.50	27.00	0.18
Elderly Males	48.00	29.00	0.22
Elderly Females	41.50	30.50	0.20
USA Males	51.50	29.00	0.23
USA Females	44.00	30.00	0.21
French Males	51.50	28.00	0.23
French Females	47.00	29.50	0.22
Swedish Males	51.00	25.50	0.20
Swedish Females	42.50	30.00	0.20
Swiss Males	47.50	29.50	0.22
Swiss Females	45.50	32.50	0.23
Indian Males	45.50	23.50	0.17
Indian Females	39.00	25.50	0.16
Average	45.58	28.20	0.20
Maximum	51.50	32.50	0.26

- La US Standars publica una tabla con los valores antropomórficos del tamaño del cuerpo de la población mundial.
- Existen múltiples estudios que determinan la velocidad de desplazamiento de un individuo en función de diferentes parámetros.

cottes
LIFE SAVING SOLUTIONS

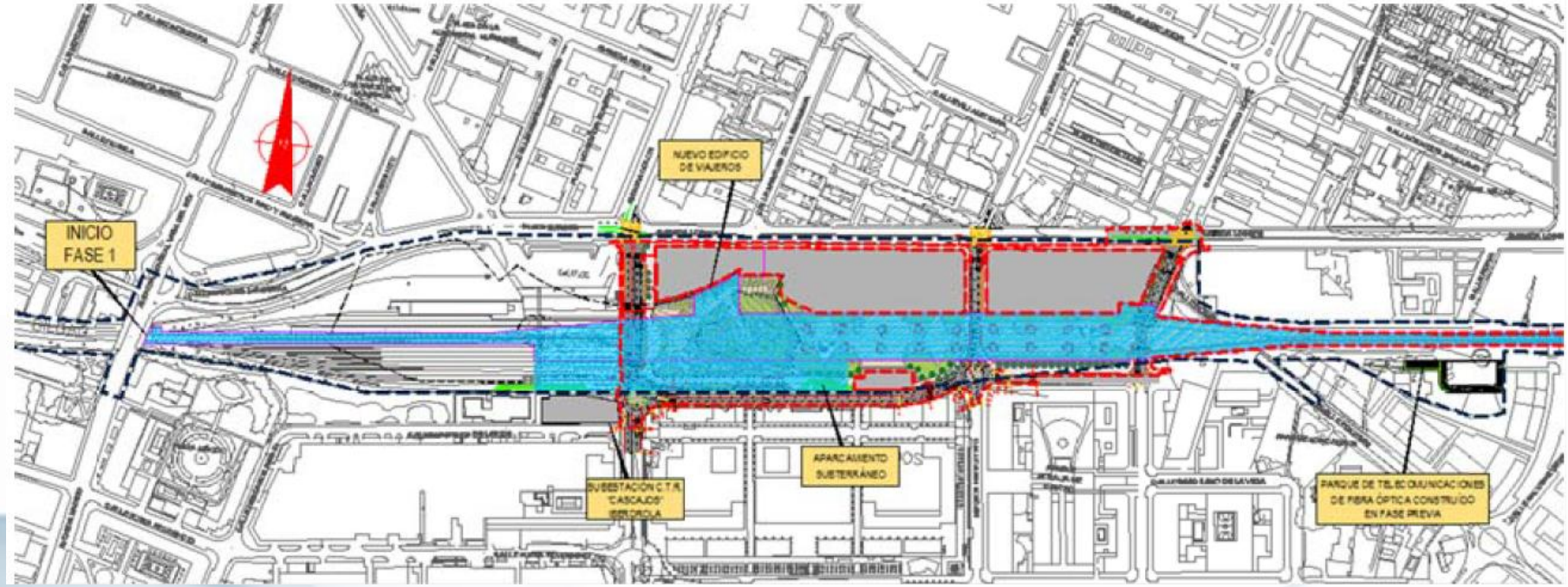
ÍNDICE :

- BLOQUE I: NECESIDAD DE APLICACIÓN DE MSI PARA EVACUACIÓN DE PERSONAS EN SITUACIÓN DE INCENDIO
- BLOQUE II: MÉTODO PARA EL ANÁLISIS DE LA EVACUACIÓN DE PERSONAS EN EDIFICIOS DE PÚBLICA CONCURRENCIA
- **BLOQUE III: APLICACIÓN PRÁCTICA DEL MÉTODO**

cottes
LIFE SAVING SOLUTIONS

BLOQUE III: APLICACIÓN PRÁCTICA DEL MÉTODO

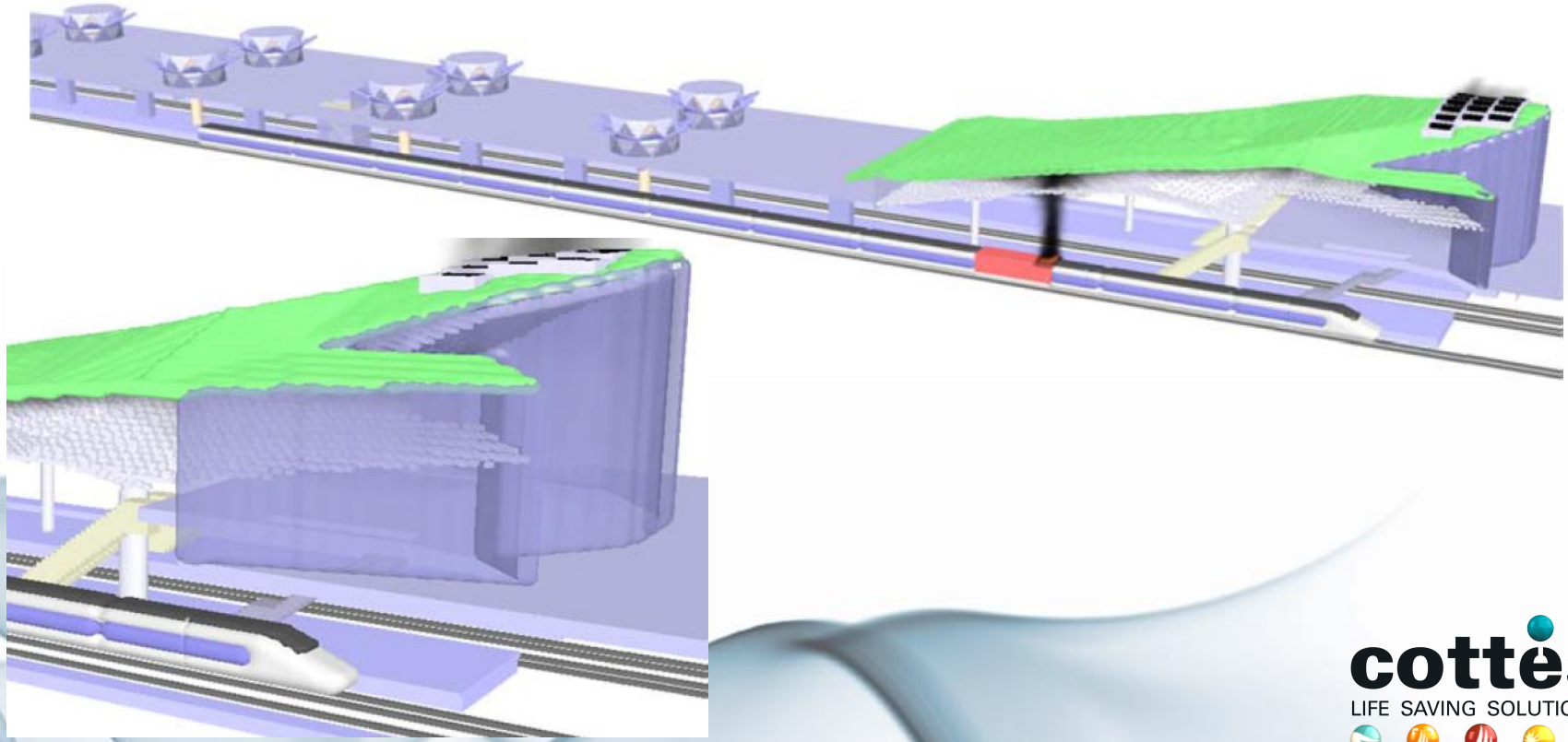
- Se realizó un estudio completo de evacuación de personas sobre una nueva estación ferroviaria mediante la utilización de MSI



cottès
LIFE SAVING SOLUTIONS

1_ Obtención del ASET: Comportamiento del Humo (FDS)

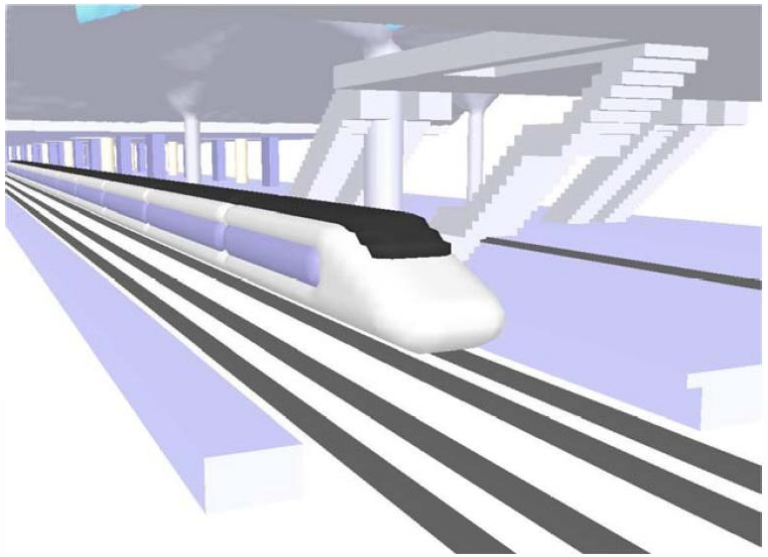
- Edificio: Geometría



1_ Obtención del ASET: Comportamiento del Humo (FDS)

- Edificio: Geometría

Detalle de los andenes y escaleras de acceso a la plataforma



Detalle de los andenes y escaleras de acceso a la plataforma

cottes
LIFE SAVING SOLUTIONS

1_ Obtención del ASET: Comportamiento del Humo (FDS)

- Edificio: Materialidad

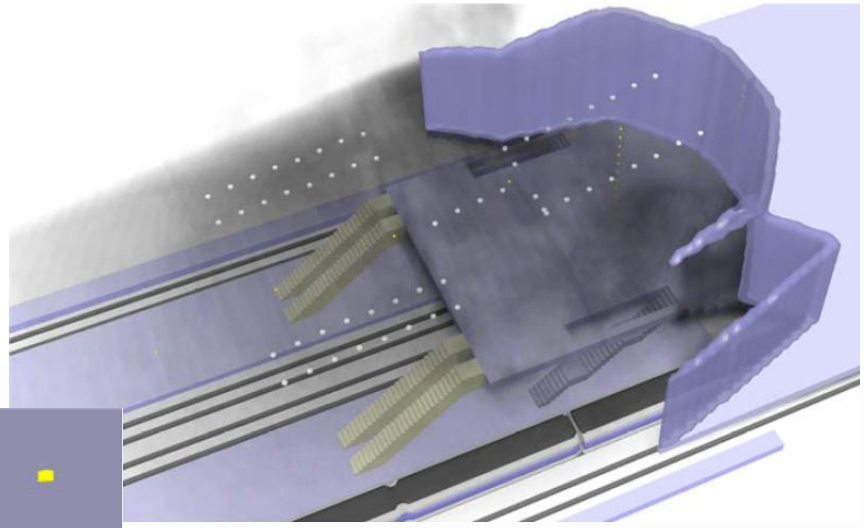
Elemento	Material	Cp (kJ/kg/K)	λ (W/m/K)	ρ (kg/m3)	Emisividad
Soleras	Hormigón	0,88	1,00	2.100	0,9
Cerramientos	Vidrio	0,84	0,76	2.700	0,9
Estructuras y forjados	Hormigón	0,88	1,00	2.100	0,9
Estructuras metálicas	Acero	0,46	45,0	7.850	0,9

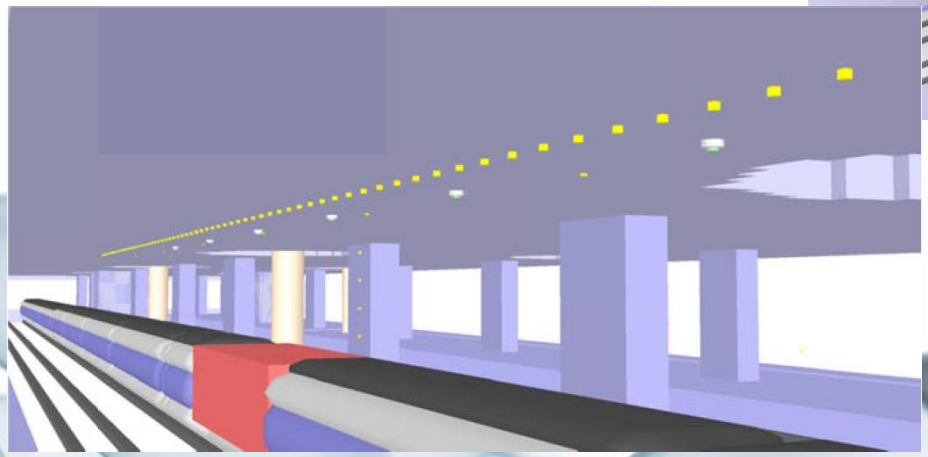
1_ Obtención del ASET: Comportamiento del Humo (FDS)

- Edificio: Instalaciones de PCI

Sistema de detección por aspiración en el vestíbulo:

Sensibilidad equivalente: 0,35 %/m
Tiempo de transporte: 120 s





Sistema de detección por cable sensor de temperatura en andenes:

56ºC ó incremento de 10ºC en 1 min

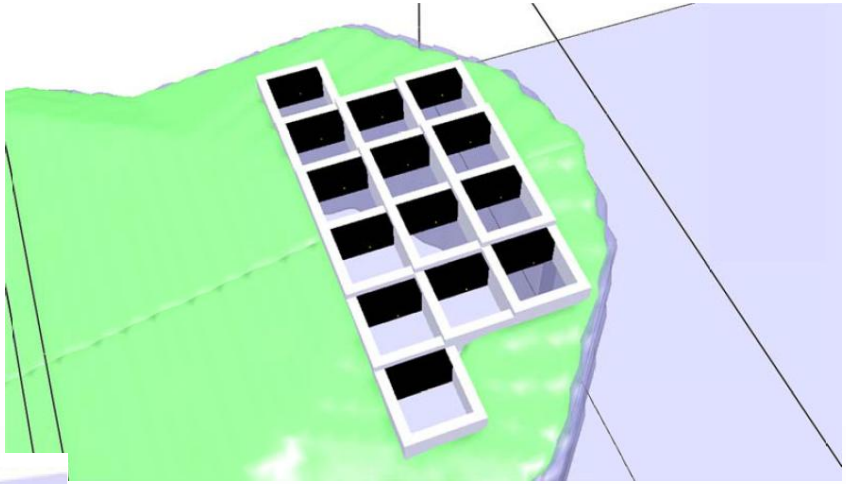
cottes
LIFE SAVING SOLUTIONS

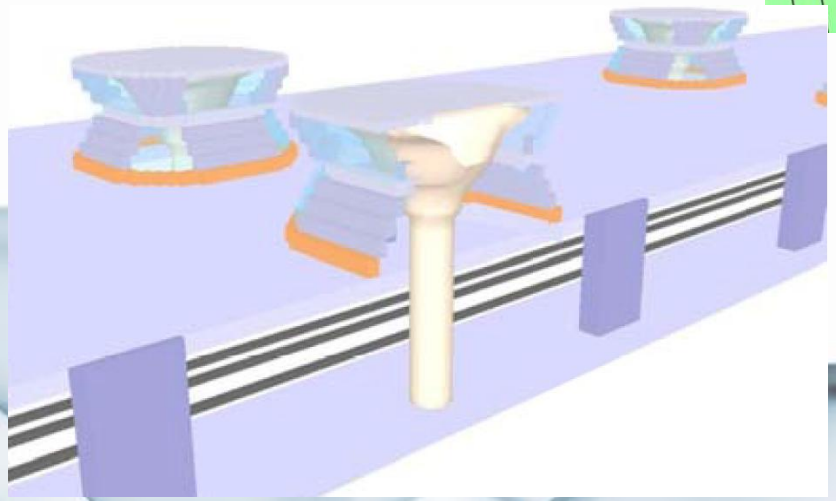
1_ Obtención del ASET: Comportamiento del Humo (FDS)

- Edificio: Instalaciones de PCI

Sistema de evacuación por la cubierta del vestíbulo:

14 uds. con sup. efectiva 4,56 m^2





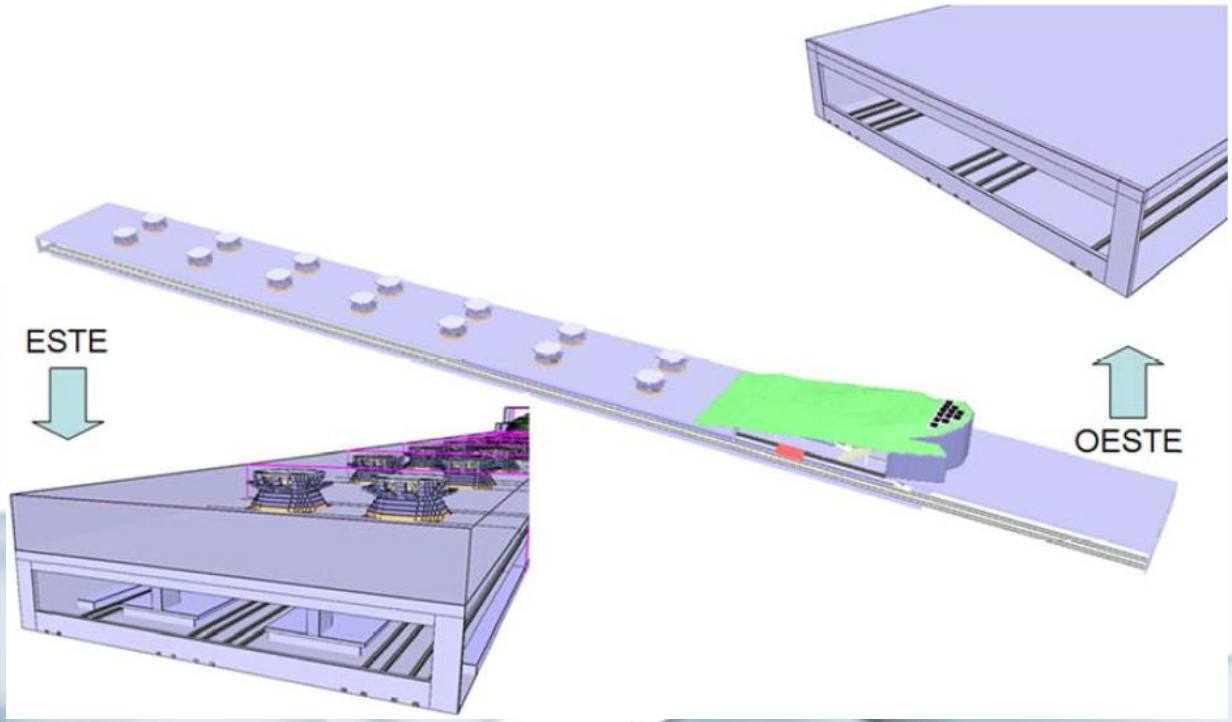
Sistema de evacuación por la cubierta de los andenes:

9 uds/luc con sup. efectiva de 2,31 m^2

cottes
LIFE SAVING SOLUTIONS

1_ Obtención del ASET: Comportamiento del Humo (FDS)

- Edificio: Instalaciones de PCI



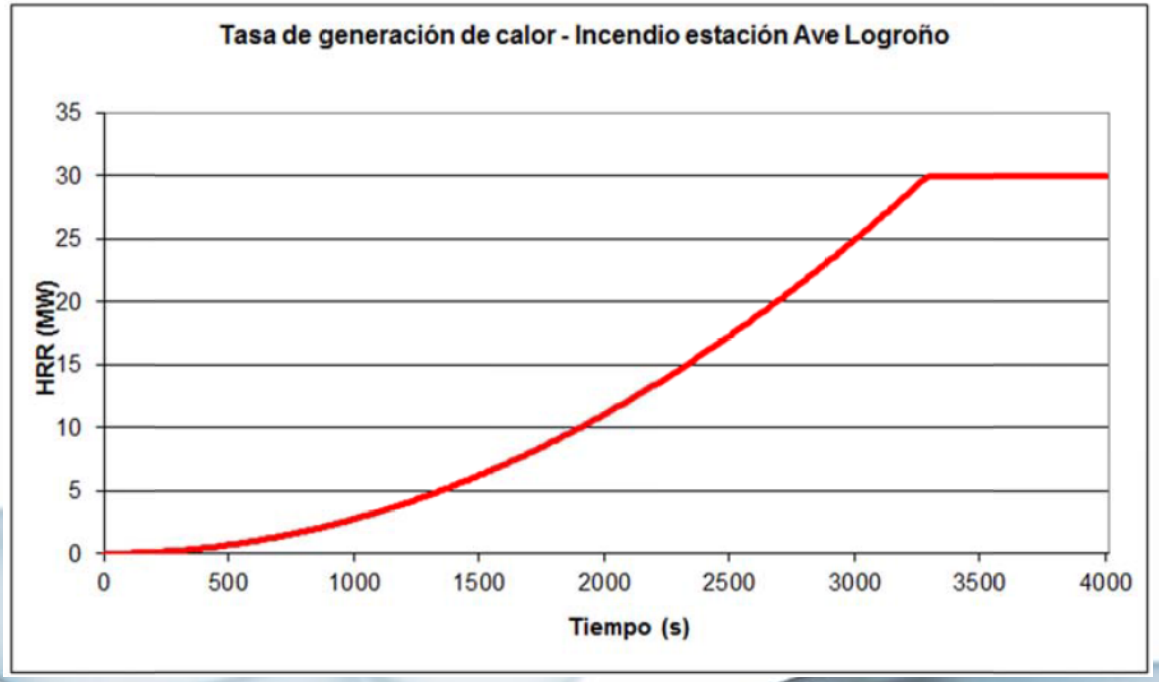
Sistema de reemplazamiento
A través de los túneles:

Túnel oeste: 196 m^2
Túnel este: 172,5 m^2

cottes
LIFE SAVING SOLUTIONS

1_ Obtención del ASET: Comportamiento del Humo (FDS)

- Incendio de diseño: Curva de liberación de calor



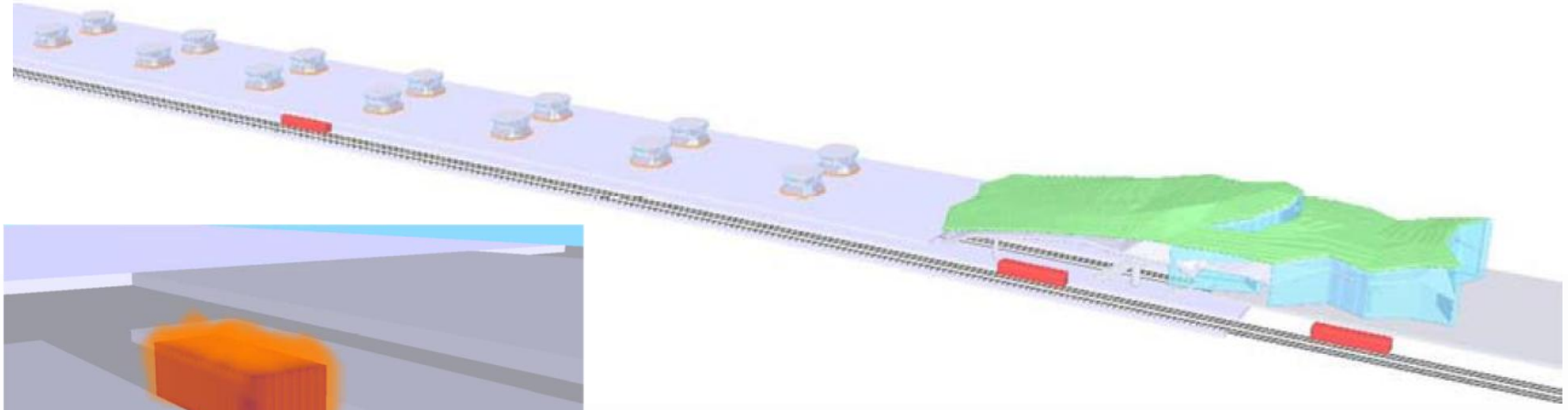
Fase estacionaria:
HRR_{max}= 30 MW
(Vagón ardiendo, 10x4x4 m)

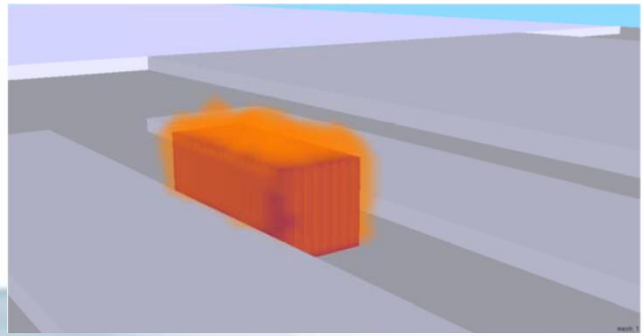
Fase creciente:
t_{α}= 600 s
(Transporte, espacio público)

cottes
LIFE SAVING SOLUTIONS

1_ Obtención del ASET: Comportamiento del Humo (FDS)

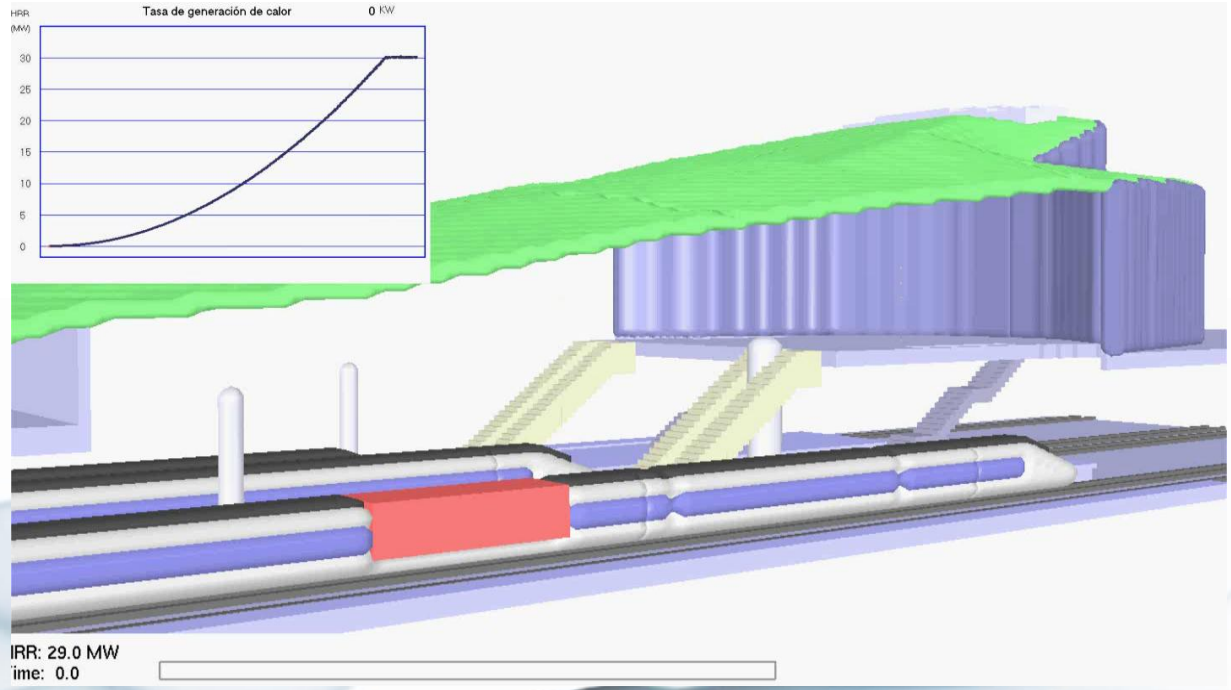
- Incendio de diseño: Emplazamiento (Criterio de riesgo y peligrosidad)





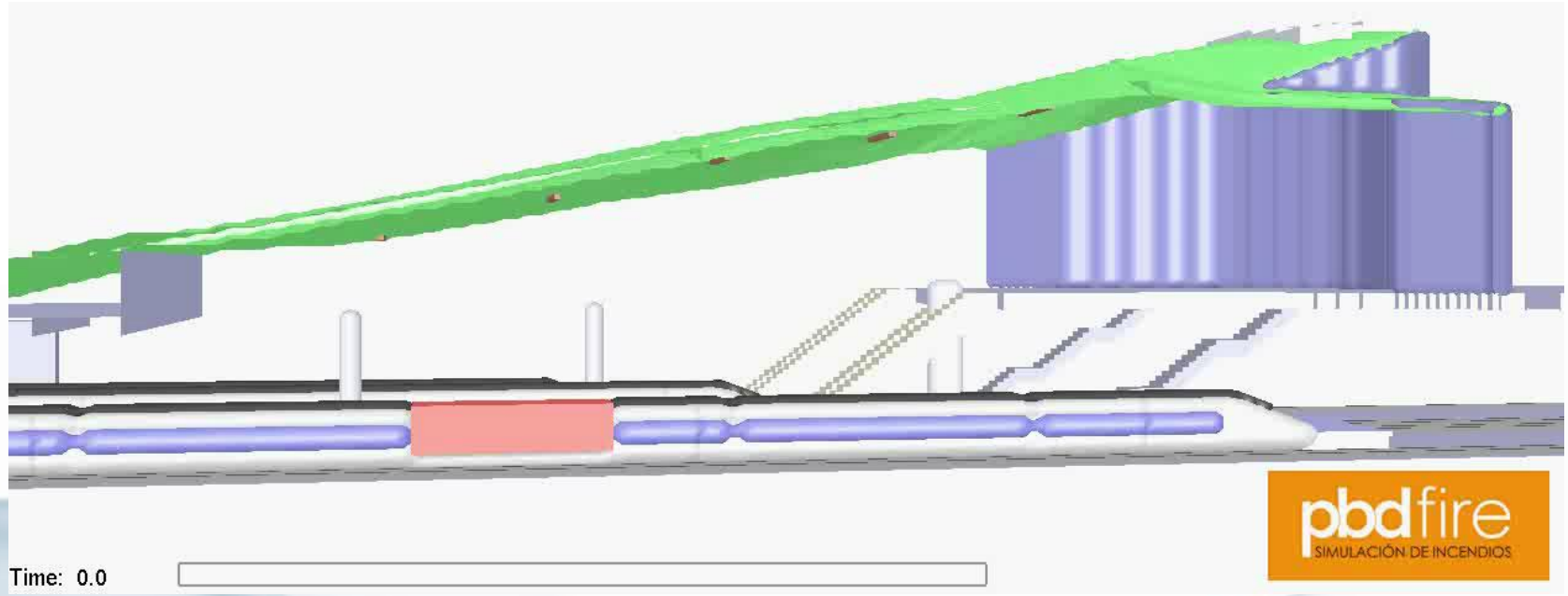
1_ Obtención del ASET: Comportamiento del Humo (FDS)

- Evolución del humo



1_ Obtención del ASET: Comportamiento del Humo (FDS)

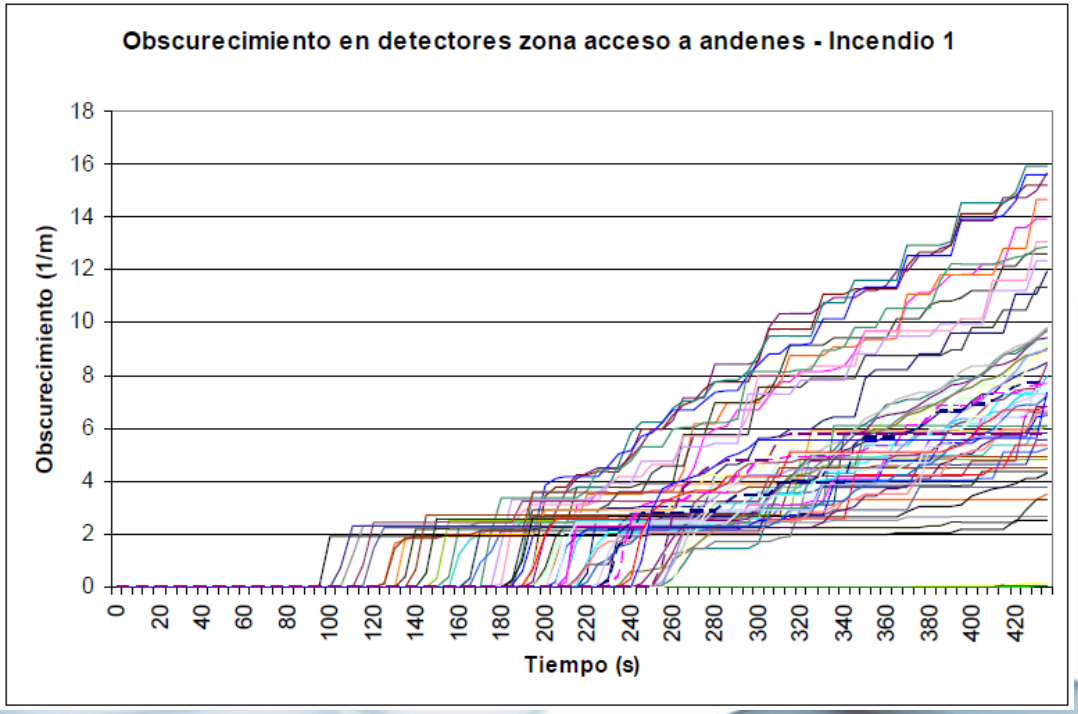
- Evolución del humo



cottes
LIFE SAVING SOLUTIONS

1_ Obtención del ASET: Comportamiento del Humo (FDS)

- Evolución del humo: Tiempo de detección (t_D)



Tiempo aspiración:
100 segundos

Tiempo de transporte:
120 segundos

Tiempo detección:
220 segundos

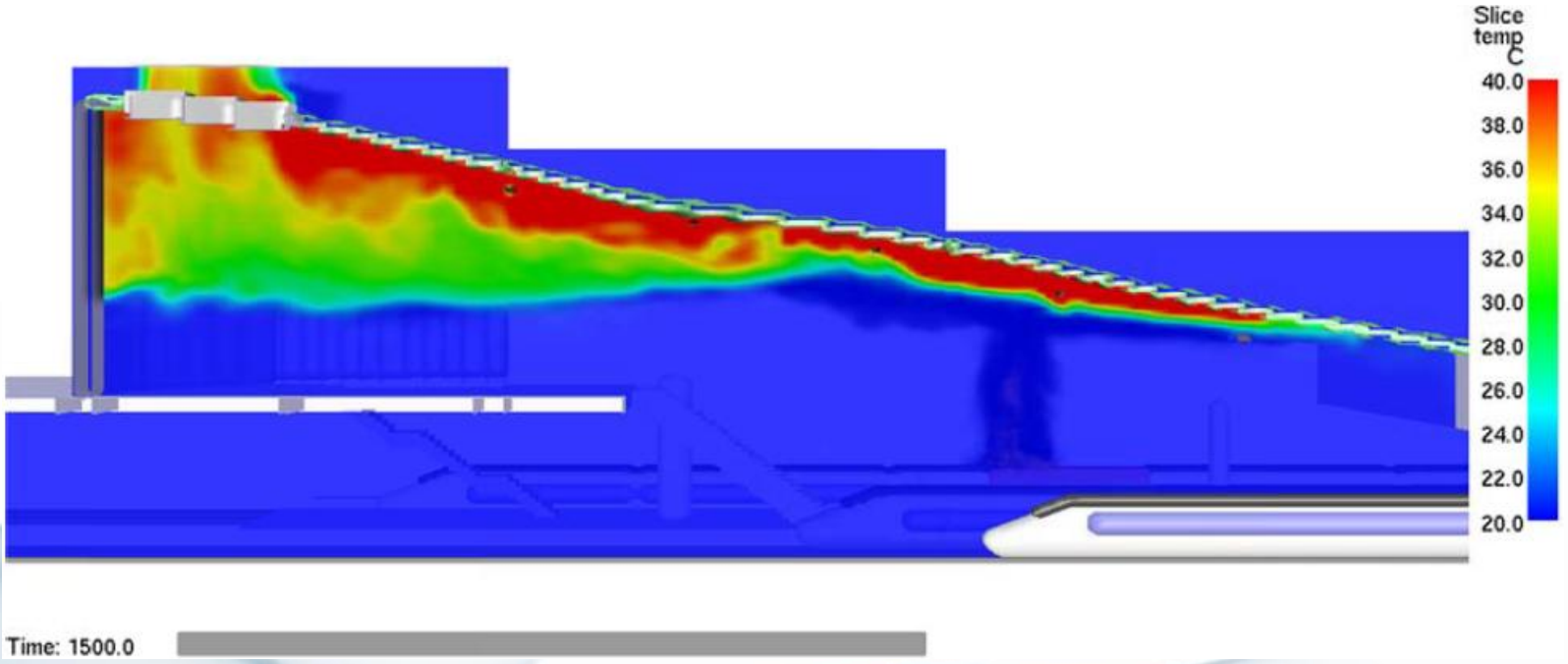
cottes
LIFE SAVING SOLUTIONS

1_ Obtención del ASET: Comportamiento del Humo (FDS)

- Evolución del humo: Condiciones ambientales

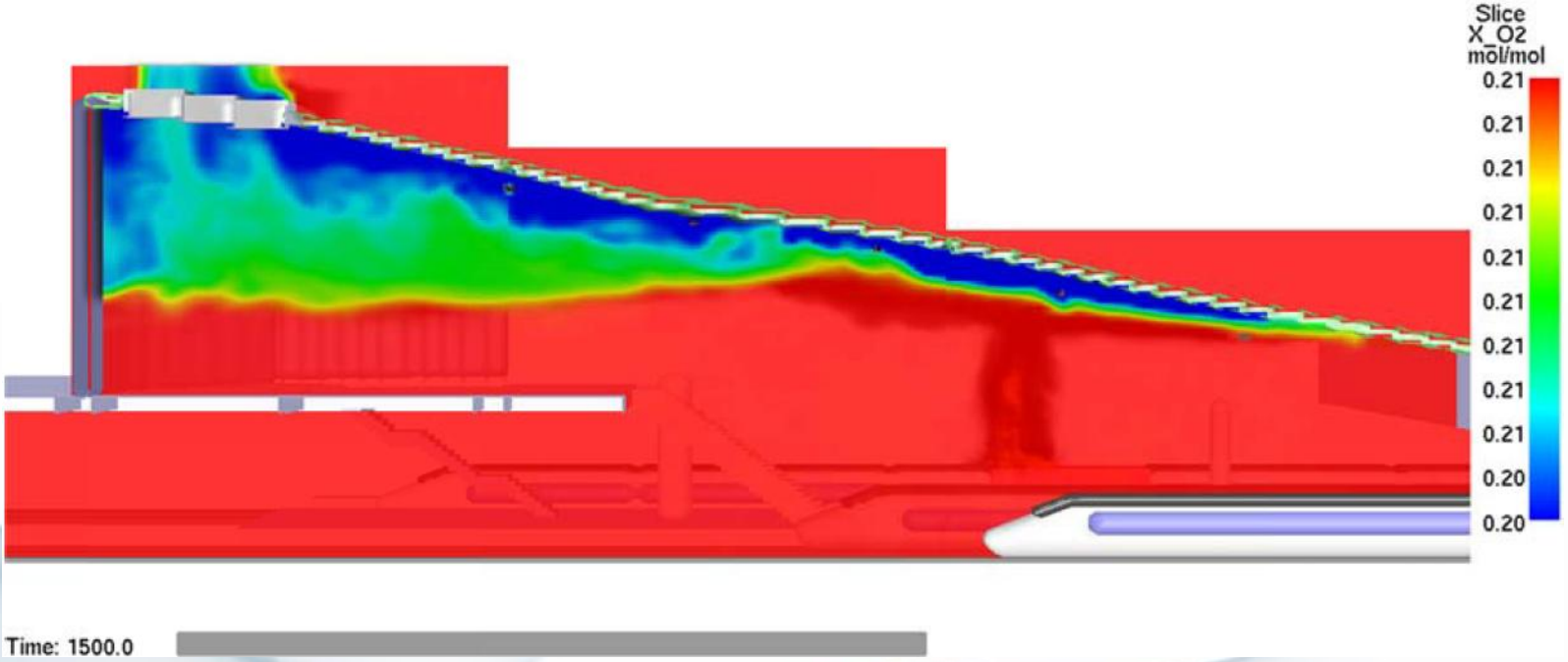
1_ Obtención del ASET: Comportamiento del Humo (FDS)

- Condiciones Ambientales: Temperatura < 50ºC



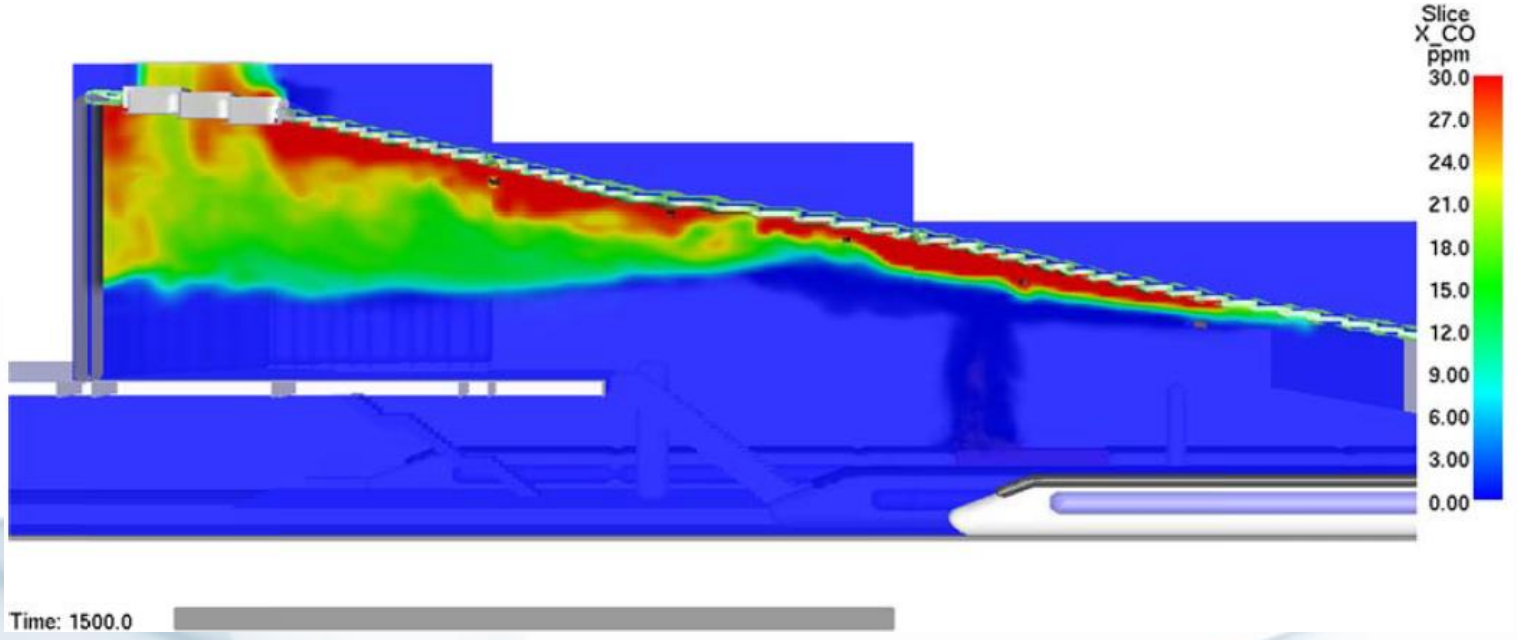
1_ Obtención del ASET: Comportamiento del Humo (FDS)

- Condiciones Ambientales: Oxígeno > 18%



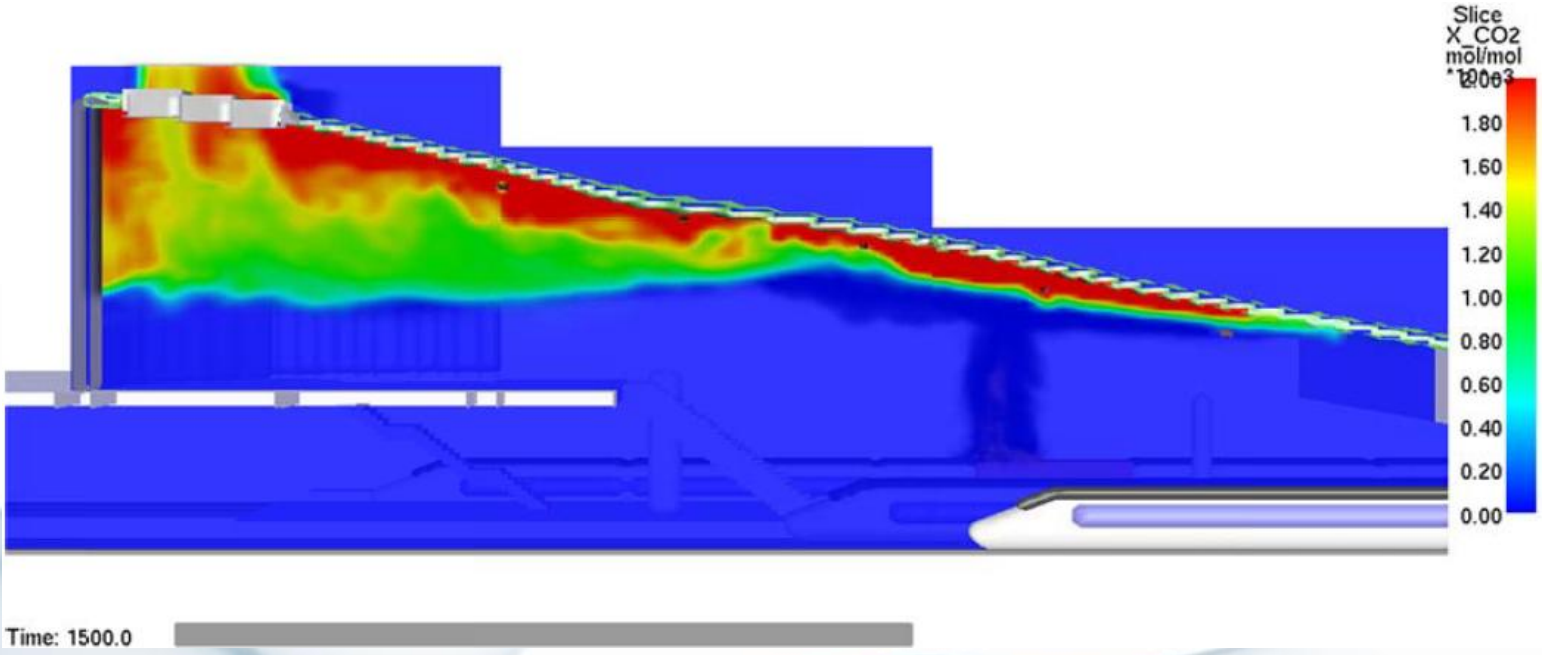
1_ Obtención del ASET: Comportamiento del Humo (FDS)

- Condiciones Ambientales: Monóxido de Carbono < 400 ppm



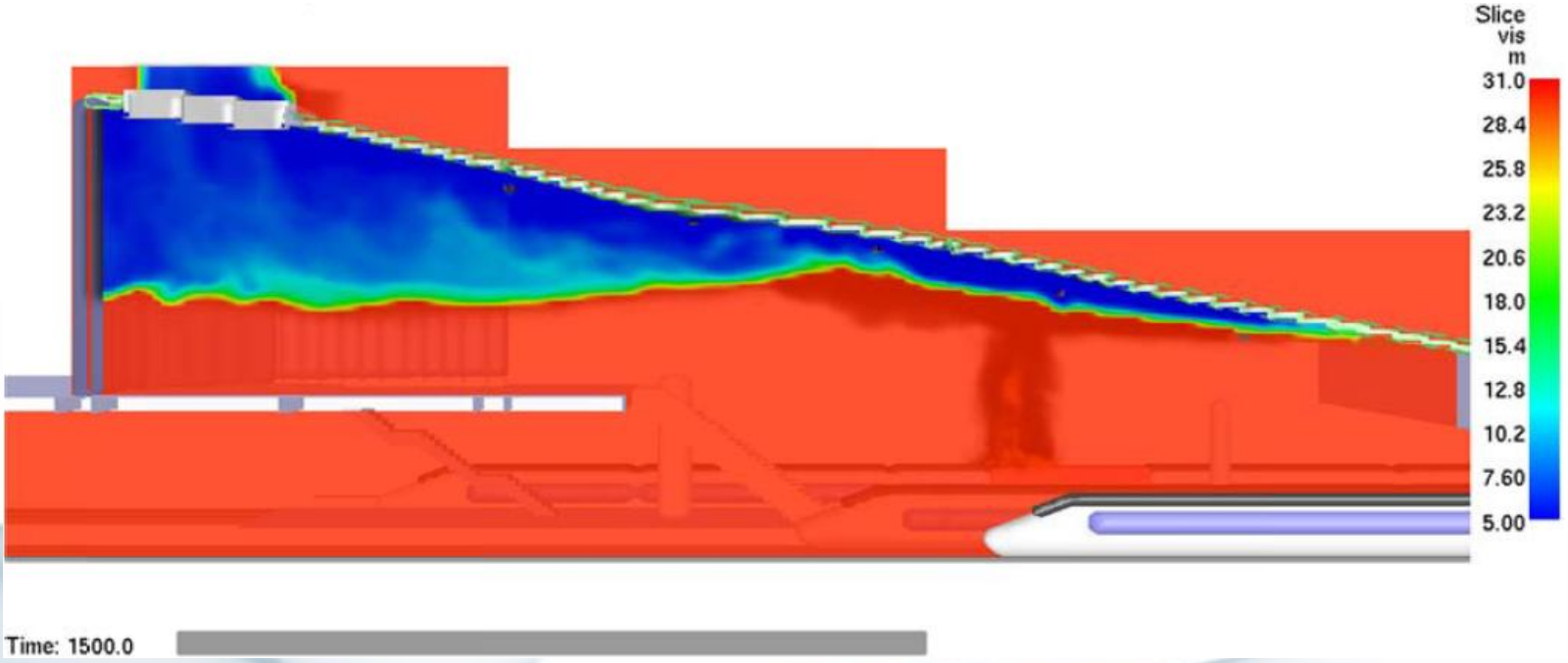
1_ Obtención del ASET: Comportamiento del Humo (FDS)

- Condiciones Ambientales: Dióxido de carbono < 0,03 mol/mol



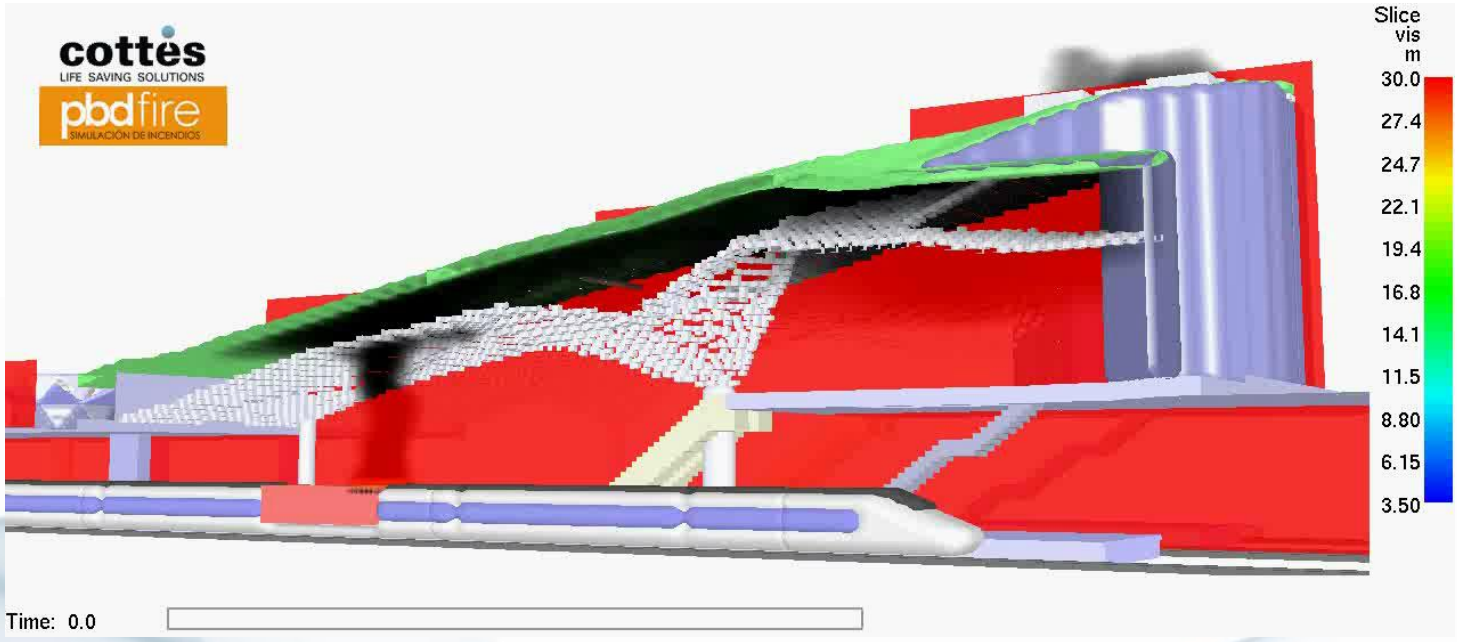
1_ Obtención del ASET: Comportamiento del Humo (FDS)

- Condiciones Ambientales: Visibilidad > 10 m.l.



1_ Obtención del ASET: Comportamiento del Humo (FDS)

- Condiciones Ambientales: Visibilidad > 10 m.l.



1_ Obtención del ASET: Comportamiento del Humo (FDS)

- Condiciones Ambientales
  - Tras 1500 segundos de simulación, la capa de humos queda controlada, en cuanto a su espesor y a la temperatura desarrollada por los gases calientes que en el se contiene.
  - Si el SCTEH funciona correctamente, con la filosofía de diseño ante "curva como fuente inagotable de energía", las condiciones ambientales se mantienen de manera indefinida.
  - Con ello se puede garantizar condiciones ambientales adecuadas durante el tiempo que se prolonga la simulación informática referente al comportamiento de los humos:

$$\text{ASET} = 1500 \text{ segundos}$$

2_ Obtención del RSET: Comportamiento Ocupantes (Pathfinder)

- Edificio: Geometría (salidas de evacuación)

  - Escaleras desde el andén al espacio exterior seguro (x4)
  - Escaleras desde el andén al vestíbulo previo al exterior seguro (x2)

cottes
LIFE SAVING SOLUTIONS

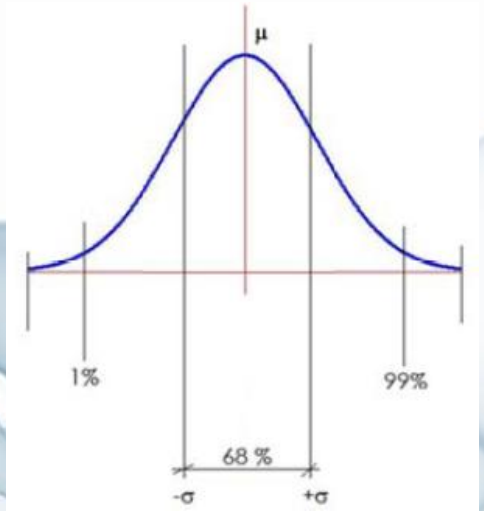
2_ Obtención del RSET: Comportamiento Ocupantes (Pathfinder)

- Características de los Ocupantes: Tiempo de reacción (t_R)
  - Sistema de Alarma → A2 (detección automática, con activación manual del sistema de alarma por parte del personal de seguridad)
  - Tipo de Ocupación → E (específico para centros de transporte público, con ocupantes despiertos y no conocedores del edificio)
  - Complejidad del edificio → B3 (edificio con distribución en planta compleja y recinto de grandes dimensiones)
  - Entrenamiento de la gente → M2 (personal propio formado en emergencias, evacuación y seguridad pero en un ratio bajo)

2_ Obtención del RSET: Comportamiento Ocupantes (Pathfinder)

- Características de los Ocupantes: Tiempo de reacción (t_R)

E: transportation (e.g. railway, bus station or airport) **Awake and unfamiliar**		
M1 B3 A1 – A2	1.5	4
M2 B3 A1 – A2	2.0	5
M3 B3 A1 – A3	*>15*	*>15*
M1 and M2 would normally require voice alarm/PA		



Distribución normal:

Media:
μ= 210 segundos (3’ 30”)

Desviación típica:
σ= 39 segundos

cottes
LIFE SAVING SOLUTIONS

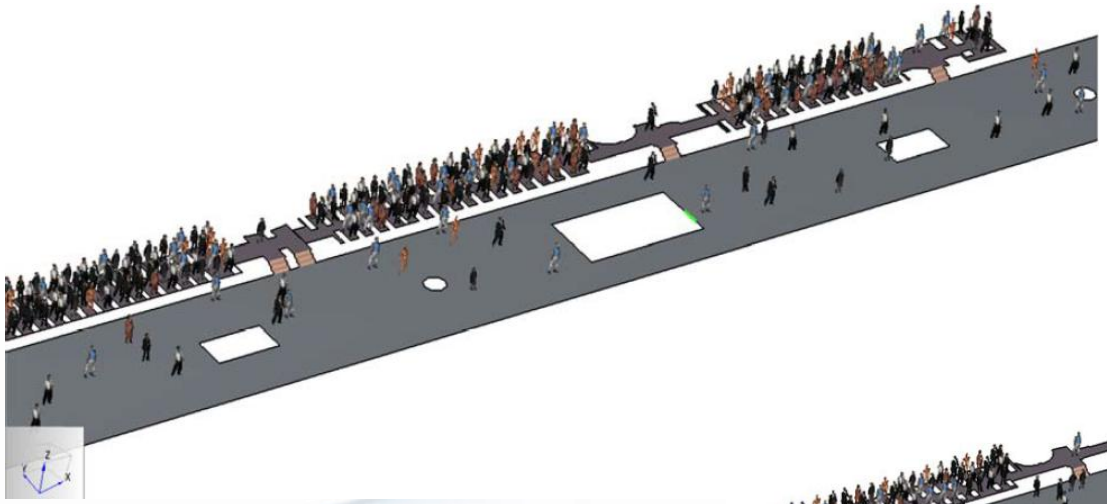
2_ Obtención del RSET: Comportamiento Ocupantes (Pathfinder)

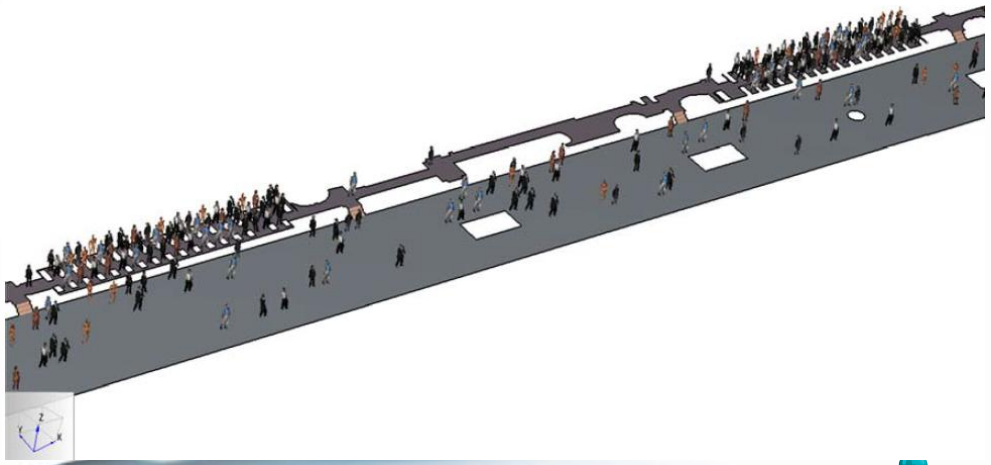
- Características de los Ocupantes: Tiempo propio de evacuación (t_{PE})
  - Según estudios publicados por el GIDAI para estaciones de transporte público, se considera una ocupación de 50% hombres, 40% mujeres y 10% niños.
  - La ocupación del tren es de 395 pasajeros y 15 trabajadores. Se considera que en la estación se realizará un intercambio de 1/3 de los pasajeros (132 personas en el andén). Lo que supone 542 personas

cottes
LIFE SAVING SOLUTIONS

2_ Obtención del RSET: Comportamiento Ocupantes (Pathfinder)

- Características de los Ocupantes: Tiempo propio de evacuación (t_{PE})





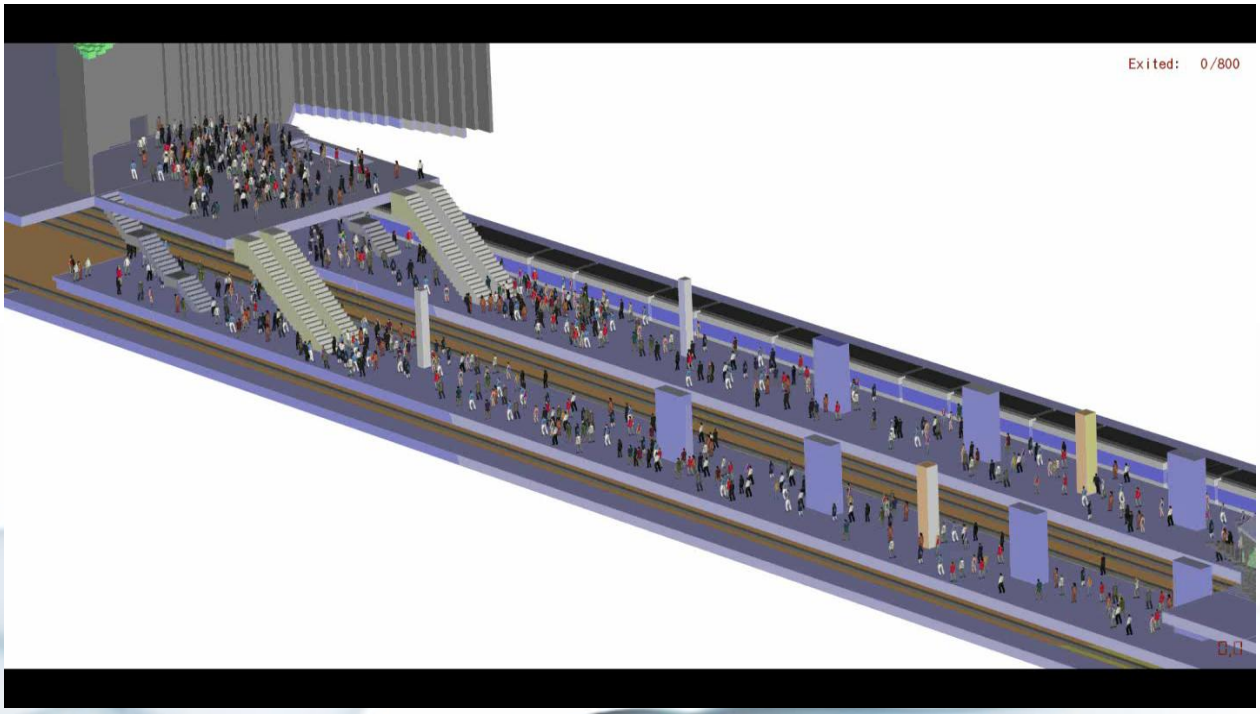
2_ Obtención del RSET: Comportamiento Ocupantes (Pathfinder)

- Características de los Ocupantes: Tiempo propio de evacuación (t_{PE})
  - Para el ancho del cuerpo se toma como referencia más cercana a la población española los datos sobre individuos franceses.
  - La velocidad de desplazamiento se obtiene de estudios publicados y se modela como una distribución normal

Tipo de Ocupante	Anchura (cm)	Velocidad (m/s)
Hombre	52	1,35 ± 0,20
Mujer	48	1,15 ± 0,20
Niño	42	0,90 ± 0,30

2_ Obtención del RSET: Comportamiento Ocupantes (Pathfinder)

- Evolución de la evacuación



cottes
LIFE SAVING SOLUTIONS

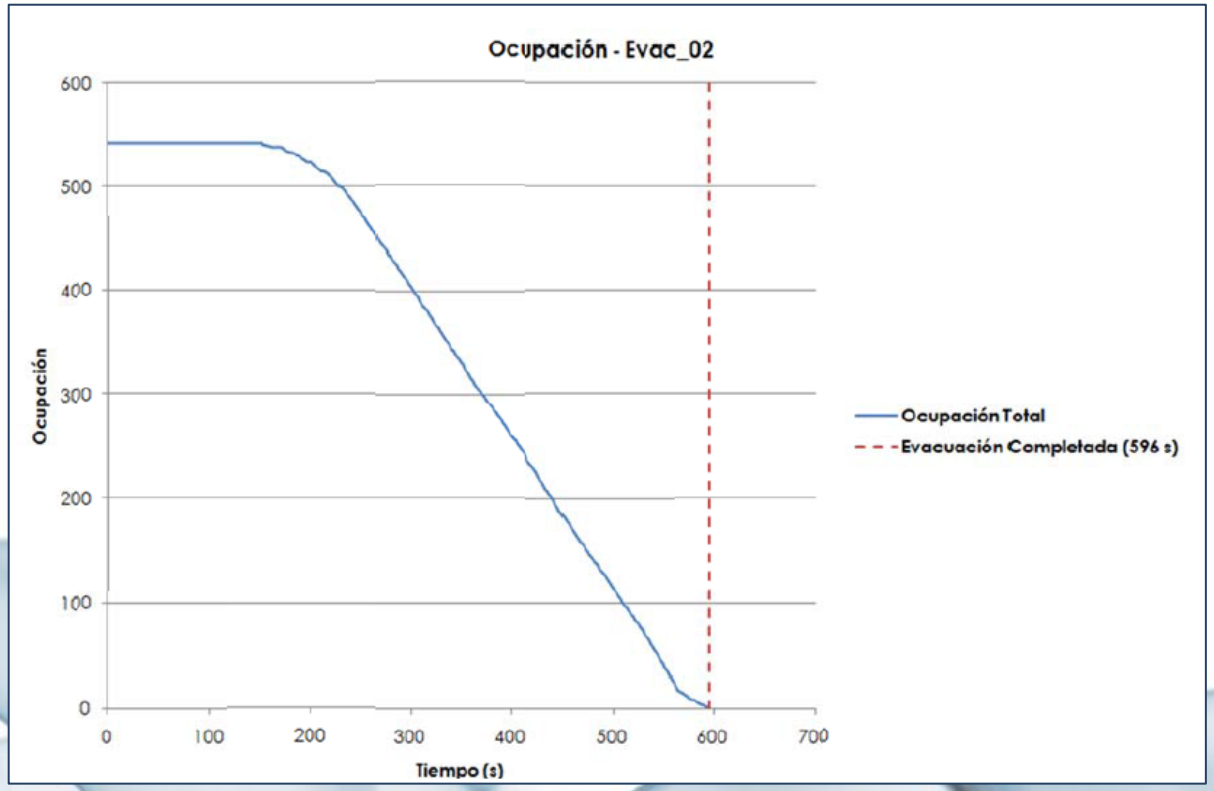
2_ Obtención del RSET: Comportamiento Ocupantes (Pathfinder)

- Evolución de la evacuación

cottes
LIFE SAVING SOLUTIONS

2_ Obtención del RSET: Comportamiento Ocupantes (Pathfinder)

- Evolución de la evacuación



Desde el accionamiento del sistema de alarma hasta que se evacúa el establecimiento:

$$t_R + t_{PE} = 596\ s$$

cottes
LIFE SAVING SOLUTIONS

2_ Obtención del RSET: Comportamiento Ocupantes (Pathfinder)

- El sistema de alarma se acciona a través del personal de seguridad de la estación de tren, tras comprobar la señal de detección:

$$t_A = 60 \text{ segundos}$$

- El tiempo de detección requerido para la evacuación asciende a:

$$RSET = t_D + t_A + t_R + t_{PE} = 220 + 60 + 596 = 876 \text{ segundos}$$

Se cumple la condición establecida por el método de evacuación desarrollado, con lo que se garantiza una evacuación en condiciones de seguridad:

$$ASET = 1500 \text{ s} > RSET = 876 \text{ s}$$

cottes
LIFE SAVING SOLUTIONS

cottes
LIFE SAVING SOLUTIONS

Gracias por vuestra atención

Alejandro Adán Sanchis
Alejandro.adan@cottesgroup.com

Miembros de:

tecnifuego AESPI

APSEI
Associação Portuguesa de Segurança Electrónica e de Protecção Incêndio

cepreven