

# Análisis de la evacuación en trenes de alta velocidad mediante modelado y simulación computacional<sup>(\*)</sup>

J. A. CAPOTE      R. TOGORES  
D. ALVEAR        M. LÁZARO  
O. V. ABREU      A. CUESTA

*Grupo GIDAI. Seguridad contra Incendios. Investigación y Tecnología E.T.S. de Ingenieros Industriales y de Telecomunicaciones. Universidad de Cantabria*

**RESUMEN:** El presente artículo tuvo por objeto analizar, mediante técnicas avanzadas de Modelado y Simulación Computacional, los efectos de la gestión de la evacuación en diferentes situaciones de emergencia en los trenes de pasajeros de alta velocidad.

Se plantearon varios escenarios en base a la naturaleza de la emergencia, las diversas afectaciones del sistema de evacuación y las estrategias de evacuación aplicadas. El Estudio se realizó en dos fases. En la primera fase se procedió al análisis de las condiciones de evacuación para los pasajeros tanto en los movimientos de pre-evacuación por el interior del tren como durante el proceso de evacuación hacia el exterior. En la segunda fase se procedió a la realización de múltiples simulaciones que permitieron capturar variaciones estocásticas a fin de obtener una estimación acertada sobre los tiempos requeridos para la evacuación de los pasajeros en condiciones seguras **RSET** (*Required Safe Egress Time*).

Los resultados obtenidos mostraron las ventajas cualitativas y cuantitativas de unas condiciones de evacuación controlada o dirigida por el personal frente a una estrategia de auto-rescate y permitieron elaborar propuestas de seguridad para la gestión de emergencias.

## I. INTRODUCCIÓN

**D**urante los últimos años se han realizado un importante esfuerzo en la Red de Alta Velocidad en el transporte de viajeros en Europa. En nuestro país se ha producido un crecimiento de las infraestructuras destinadas al transporte ferroviario. España es uno de los líderes mundiales en número de km de Alta Velocidad en construcción.

Los condicionantes de velocidad y las infraestructuras derivadas de las condiciones

de operación conllevan a un aumento de los factores de riesgo vinculados a las situaciones de emergencia que potencialmente comprometen la seguridad de los pasajeros. Además de los avances en las instalaciones y sistemas de control del tráfico ferroviario, las decisiones a adoptar en situaciones de emergencia deben contar con suficiente apoyo científico-técnico.

Durante los últimos años la intensificación de los esfuerzos dedicados a la investigación para conseguir los niveles más aceptables de seguridad para las personas, junto a la continua evolución de la capacidad de los ordenadores, han dado lugar a la aparición de modelos de gran complejidad que sólo pueden ser implementados por medios computacionales. Los Modelos de Simulación Computacional de Evacuación vienen jugando

<sup>(\*)</sup> El artículo corresponde al resumen del proyecto elaborado en el marco de las subvenciones para la realización de estudios y acciones de difusión relacionados con el transporte, sus infraestructuras y demás competencias del Ministerio de Fomento (Orden FOM/2219/2008, de 22 de julio).

un papel importante en el estudio de los aspectos científicos y tecnológicos de la seguridad ya que permiten conocer el posible desarrollo del proceso de evacuación ante una situación de emergencia. Estos modelos han incrementado su grado de sofisticación y permiten la posibilidad de implementar el factor humano mediante la introducción de variables que definen las acciones y decisiones de las personas en caso de emergencia [1-2].

Los coches de transporte ferroviario de pasajeros conforman un escenario muy característico debido a los espacios reducidos por los cuales se produce el movimiento de los pasajeros, por las limitadas variantes de elección y por el comportamiento específico de cada individuo. Por eso el modelado de la conducta humana en el interior de un tren en caso de emergencia es un problema de gran complejidad. En primer lugar las personas como actores de la evacuación, presentan diversas características (físicas y conductuales) y no actúan y responden de forma homogénea ante una situación de emergencia [3]. Las variables que definen las características y conducta de cada uno de los pasajeros en caso de emergencia son extraordinariamente aleatorias y tienen un impacto significativo en el proceso de evacuación. Estas variables son los tiempos de respuesta, las velocidades de desplazamiento y las actividades de preevacuación. El tiempo de respuesta es el tiempo empleado por los pasajeros en iniciar los movimientos de evacuación una vez han recibido la notificación de la emergencia. Actualmente es bien conocido que las personas no responden de forma simultánea ante una situación de emergencia. El tiempo de respuesta personal viene determinado por diversos factores tales como la forma y tipo de notificación de la emergencia, las características y experiencia personal de cada individuo y la interacción con el resto de pasajeros. En segundo lugar es necesario considerar los distintos factores externos que influyen en sus acciones y decisiones tales como la configuración y diseño interior de los vehículos, los medios disponibles en el sistema de evacuación y la intervención de la tripulación en la gestión de la emergencia.

En este tipo de entornos, las decisiones y acciones de determinados pasajeros influyen de forma determinante en el movimiento de evacuación del resto de los pasajeros y tienen

un impacto significativo en los tiempos totales de evacuación. Si los pasajeros no perciben directamente la amenaza, pueden adoptar conductas no adaptadas durante la evacuación y emplear tiempo en coger su equipaje u objetos personales bloqueando el pasillo y poniendo en riesgo al resto de los pasajeros [4-5].

Este tipo de conductas pueden ser habituales. Para minimizar el impacto negativo de las conductas no adaptadas en el proceso de evacuación, es necesaria la aplicación de procedimientos encaminados a una gestión adecuada del movimiento de los pasajeros por el interior del vehículo y hacia el exterior en caso de emergencia a fin conseguir los niveles más aceptables para la seguridad de los pasajeros.

El presente artículo centró sus trabajos de investigación en el análisis del proceso de evacuación de los trenes de transporte de pasajeros de las Series 102 y 130 de RENFE Operadora mediante el empleo del Modelo de Simulación Computacional STEPS Version 3.0 [6]. Se plantearon diferentes escenarios de emergencia y condiciones del sistema de evacuación. La utilización del Modelado y Simulación Computacional permitió considerar hipótesis en la aplicación o no de diferentes estrategias y procedimientos de evacuación.

El análisis realizado se dividió en dos fases. En la primera fase se procedió al estudio y valoración de las condiciones de seguridad para los pasajeros en que se realiza el proceso de evacuación tanto en durante las actividades de pre-evacuación como en la salida de los pasajeros del vehículo. En esta primera fase se realizó un análisis comparativo entre la estrategia de auto-rescate y la aplicación de procedimientos de gestión del flujo de pasajeros durante la evacuación y el momento de comunicación de la emergencia a fin de determinar el impacto de la conducta de los pasajeros tanto en las actividades de pre-evacuación en el interior del vehículo como durante el proceso de evacuación hacia un espacio exterior seguro. En la segunda fase se procedió a la determinación del **RSET** (*Required Safe Egress Time*), es decir, el tiempo necesario para la evacuación de los pasajeros en condiciones seguras. Muchos de los modelos de evacuación actuales, tienen limitaciones a la hora de reproducir determinados aspectos del



factor humano [7-9] y en muchos casos, es el propio usuario quien de forma determinista introduce los parámetros y valores necesarios para el análisis. Cada vez más autores coinciden en la necesidad de adoptar una aproximación estocástica en la aplicación del Modelado y Simulación Computacional de Evacuación debido a la aleatoriedad de las variables concernientes a la conducta humana [10]. A tales efectos, para cada uno de los escenarios se realizaron 100 simulaciones con un total de 2.400 iteraciones (1.200 simulaciones para cada uno de los trenes considerados) que, debido al carácter estocástico de las variables de entrada introducidas en el Modelo aportaron diferentes tiempos de evacuación. Este análisis permitió conocer los tiempos máximos e intermedios empleados en el proceso de la evacuación a fin de determinar el RSET o tiempo requerido para la evacuación de los pasajeros en condiciones de seguridad.

## 2. TRENES SELECCIONADOS

En el presente Estudio se consideraron los trenes de pasajeros de las series 102 y 130 de RENFE Operadora. Los datos relativos a la composición y características de los trenes se muestran en la Tabla 1 y sus características se muestran en la Tabla 2. Los coches cuentan con 2 salidas (una salida por costado). De forma particular, el Coche Extremo Turista de la Serie 102 no tiene salidas, al igual que los coches extremos del Tren de la Serie 130.

Las salidas son de apertura automática y/o manual que se manipulan desde los vestíbulos de acceso de los coches de pasajeros. El ancho nominal de las salidas al exterior es de 0.813 m permitiendo el flujo de una persona por unidad de tiempo. Los

pasillos de los coches de las clases club y preferente, tienen un ancho de 0.695 m entre butacas, mientras que las dimensiones de los coches de pasajeros de la clase turista, son mucho menores con un ancho de pasillo de 0.52 m. (ver Figura 1).

La evacuación de los pasajeros a balastro se realiza con una escalera de emergencia ubicada en una de las cabezas motrices (en el Tren S 102 se encuentra ubicada en la sala de máquinas de la cabeza motriz número dos).

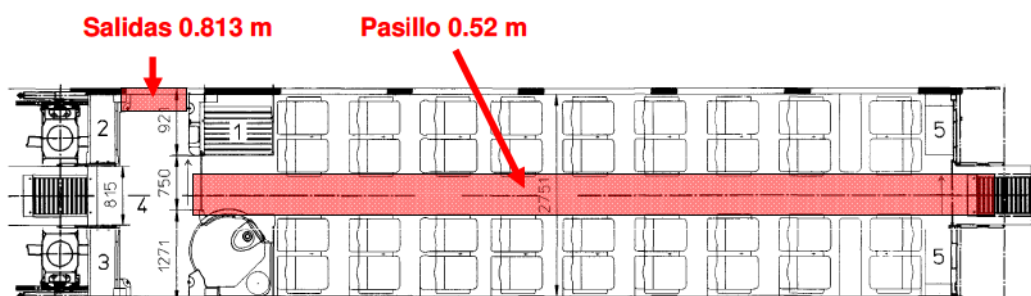
Estas escaleras están compuestas por dos tramos formados por doble viga y 8 peldaños con una longitud aproximada de 3 m y los dos tramos han de ser ensamblados. Los trasbordos a otros trenes en plena vía, se realizan con una pasarela de evacuación (en el Tren de la Serie 102 ubicada en el armario del coche cafetería y en el Tren de la Serie 130 en el coche preferente 03). La pasarela consta de dos partes ensambladas y deslizantes entre sí, la cual en determinados casos se podría utilizar para la Evacuación a Balastro. Tanto la escalera de emergencia

**Tabla 1**

**CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LOS TRENES OBJETO DEL ESTUDIO**

Características	Tren	
	Serie 102	Serie 130
Ocupación Máxima (Pasajeros)	316	299
Longitud Total (m)	200	184.158
N.º de Remolques	12	11
<b>Composición de los coches</b>		
N.º Coches Club	2	
N.º Coches Preferente	3	3
N.º Coches Cafetería	1	1
N.º Coches Turista	6	7
N.º de plazas para PMR	2	1
Coche Accesible (PMR)	Turista 07	Preferente 03

**Figura 1.** Ancho de los medios de evacuación en un Coche Turista del Tren de la Serie 102



**Tabla 2**  
DISTRIBUCIÓN DE LOS PASAJEROS EN LOS TRENES DE ALTA VELOCIDAD SELECCIONADOS

N.º Coche	Tren S 102		Tren S 130	
	Clase	N.º plazas	Clase	N.º plazas
01	Ext. Club	24	Ext. Pref.	14
02	Club	21	Preferente	26
03	Preferente	26	Preferente	22 + 1 PMR
04	Preferente	26	Cafetería	—
05	Preferente	24	Turista	36
06	Cafetería	—	Turista	36
07	Turista	19 + 2 PMR	Turista	36
08	Turista	36	Turista	36
09	Turista	36	Turista	36
10	Turista	36	Turista	36
11	Turista	36	Ext. Turista	20
12	Ext. Turista	30		

como la pasarela de evacuación tienen una resistencia limitada de a lo sumo dos personas de forma simultánea.

### 3. SELECCIÓN DE LOS ESCENARIOS DE EVACUACIÓN

A fin de establecer una selección satisfactoria de los posibles escenarios de evacuación, se consideró que un escenario de evacuación se define por: 1) las características del evento o suceso que produce la emergencia, 2) las condiciones del

**Tabla 3**  
VARIANTES DE LOS ESCENARIOS DE EVACUACIÓN PARA LOS TRENES DE PASAJEROS DE LAS SERIES 102 Y 130

Escenario	Condiciones	Destino de Evacuación	Estrategia
Escenario 1.1	Condiciones básicas	Andén	Auto-rescate
Escenario 1.2	Condiciones básicas	Andén	Procedimiento
Escenario 1.3	Condiciones básicas	Balastro	Auto-rescate
Escenario 1.4	Condiciones básicas	Balastro	Procedimiento
Escenario 2.1	Incendio Coche Extremo Turista	Andén	Auto-rescate
Escenario 2.2	Incendio Coche Extremo Turista	Andén	Procedimiento
Escenario 2.3	Incendio Coche Extremo Turista	Balastro	Auto-rescate
Escenario 2.4	Incendio Coche Extremo Turista	Balastro	Procedimiento
Escenario 3.1	Incendio Coche Cafetería	Andén	Auto-rescate
Escenario 3.2	Incendio Coche Cafetería	Andén	Procedimiento
Escenario 3.3	Incendio Coche Cafetería	Balastro	Auto-rescate
Escenario 3.4	Incendio Coche Cafetería	Balastro	Procedimiento

sistema de evacuación y 3) las estrategias de evacuación. En la Tabla 3 se muestran los escenarios de evacuación considerados.

En los escenarios en que se consideró un evento de incendio en el interior del tren, se simularon dos procesos dinámicos y consecutivos: los movimientos de evacuación de los pasajeros mientras el tren se encontraba operativo y el movimiento de evacuación de los pasajeros hacia un espacio exterior seguro. Se consideraron dos destinos de evacuación: Evacuación a Andén (salida de los pasajeros a través de las salidas disponibles de un costado del tren) y Evacuación a Balastro (salida de los pasajeros directamente a balastro a través de uno o dos medios auxiliares de evacuación). Asimismo se consideraron dos estrategias de evacuación:

- **Auto-rescate.** Los pasajeros se ponen a salvo por sí mismos siguiendo las indicaciones de la tripulación y la señalización de emergencia. En esta estrategia la intervención de la tripulación es mínima.
- **Procedimiento.** La tripulación interviene de forma activa tanto en los movimientos de pre- evacuación (mediante una evacuación secuenciada de los coches próximos al incendio antes de la parada del tren) como durante la evacuación hacia el exterior del vehículo. En los casos de evacuación a balastro, el procedimiento aplicado consistió en la gestión de flujos por el interior del tren hacia las salidas disponibles primando el flujo de pasajeros provenientes de la zona afectada.

### 4. EL MODELO STEPS

El Modelo de Simulación Computacional empleado "STEPS Versión 3.0" (Simulation of Transient Evacuation and Pedestrian movementS) desarrollado por la compañía Mott McDonald (UK) tiene como propósito simular el factor humano en condiciones normales o de emergencia dentro de diferentes entornos y se puede aplicar a diversos tipos de escenarios [11-13]. STEPS es un modelo de conducta parcial que además de reproducir el movimiento de los



ocupantes hacia las salidas, también reproduce determinados aspectos de la conducta humana en condiciones de la emergencia.

Este software facilita importar dibujos en formato CAD, en el cual la geometría del espacio modelado se añade al plano sobre el que se producirá la evacuación. El plano está dividido en celdas cuadradas con unas dimensiones de 0.4 a 0.5 m en cada lado. La configuración de la geometría de las paredes, particiones, columnas y mobiliario que se encuentran en el plano son interpretadas por STEPS como obstrucciones. Durante la simulación el Modelo calcula la puntuación de cada celda en relación a las salidas de un plano en particular. Los ocupantes se desplazarán a la celda con menor puntuación que no se encuentre ocupada.

## 5. DATOS DE ENTRADA EN EL MODELO

### 5.1. Geometría

El Modelo considera el espacio de los trenes a través de un mallado de celdas de 0.50 x 0.50 m que comprenden el dominio computacional a través de las cuales se produce el movimiento de los pasajeros. A fin de acomodar las condiciones de la geometría real en el Modelo, se consideró una celda susceptible de ocupación por parte de los

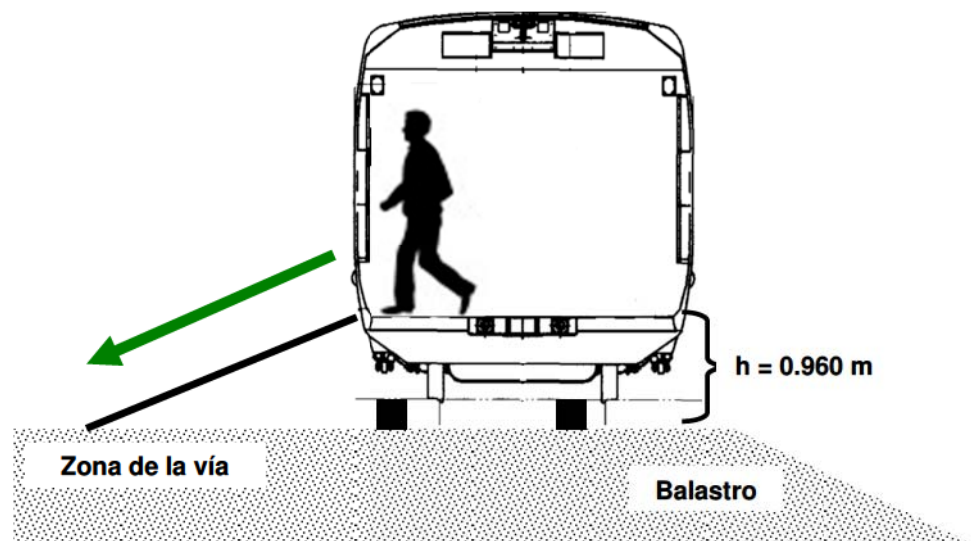
pasajeros correspondiente a cada una de las salidas convencionales de los trenes. Se consideró la capacidad de las salidas convencionales de los trenes establecida por la NFPA 130 con un flujo de 0.833 personas/s [14]. Por su lado en los escenarios correspondientes a la evacuación directamente a balastro, se procedió a la construcción de las escaleras de emergencia y/o pasarelas de evacuación con una distancia entre pasajeros no inferior a 1.40 m. Se asumió la evacuación de los pasajeros directamente a la zona de la vía. No se consideró como destino de evacuación la zona de la curva con mayor peralte tal y como se muestra en la Figura 2.

### 5.2. Caracterización de los Pasajeros

Los distintos grupos de población de los pasajeros fueron definidos por el equipo investigador considerando la Normativa Internacional Circ 1033 [15] en la que se establecen una serie de criterios para el modelado de la evacuación en medios de transporte. En la Tabla 4 se muestran las distintas tipologías de pasajeros, sus porcentajes y velocidades de locomoción.

Diversos estudios experimentales han analizado y observado el movimiento y conducta de las personas en condiciones de baja visibilidad [16-17]. En los escenarios en

Figura 2. Destino y altura de evacuación a balastro considerados para las simulaciones



**Tabla 4**

TIPOLOGÍAS, PORCENTAJE Y VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO EN LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS OCUPANTES EN EL MODELO

Tipo de pasajero	Porcentaje	Horizontal			Descendente		
		Med.	D.E*	Rango	Med.	D.E*	Rango
Mujer < 30 años	12%	1.24	0.31	0.93-1.55	0.75	0.19	0.56-0.94
Mujer 30-50 años	12%	0.95	0.24	0.71-1.19	0.65	0.16	0.49-0.81
Mujer > 50 años	16%	0.75	0.19	0.56-0.94	0.60	0.15	0.45-0.75
Mujer PMR 1**	10%	0.57	0.14	0.43-0.71	0.45	0.11	0.34-0.56
Hombre < 30 años	12%	1.48	0.37	1.11-1.85	0.86	0.10	0.76-1.07
Hombre 30-50 años	12%	1.30	0.33	0.97-1.62	0.86	0.22	0.64-1.07
Hombre > 50 años	16%	1.12	0.28	0.84-1.40	0.67	0.17	0.50-0.84
Hombre PMR 1**	10%	0.85	0.21	0.64-1.06	0.51	0.13	0.38-0.64
PMR 2**	—	0.69	0.60	0.13-1.29			

\* D.E: Desviación Estándar.

\*\* PMR: Personas de Movilidad Reducida.

PMR 1: Pasajeros con dificultades de movimiento.

PMR 2: Pasajeros en silla de ruedas (2 pasajeros en el Tren S 102 y 1 en el Tren S 130).

Fuente: MSC Circ. 1033).

que se consideró la presencia de incendio en el interior del tren (Escenario 2 y Escenario 3), para aquellos pasajeros localizados en el coche foco del incendio, se asignaron velocidades de desplazamiento afectadas (reducidas) a causa de la presencia de humo mediante la asignación de un coeficiente  $k$  de 0.5 que afectó las velocidades de desplazamiento implementadas a cada tipología de pasajeros.

Una de las variables que definen la conducta de los pasajeros durante la evacuación, es el tiempo de demora en la respuesta ante la emergencia. Diversos estudios han constatado que, ante una situación de emergencia no se produce una reacción inmediata de las personas y que éstas necesitan tiempo para asimilar la situación antes de iniciar los movimientos hacia las salidas [18-19]. Se asumió que aquellos pasajeros situados en el Coche del Incendio percibieron por sí mismos las manifestaciones del mismo y que los pasajeros situados en los coches adyacentes, se dieron cuenta de la situación a través de la interacción con los pasajeros evacuados de la zona de peligro. De esta forma se consideró que el tiempo de respuesta de los pasajeros respondió a las siguientes fórmulas:

- Tiempo de respuesta del coche foco del incendio:

$$T_{ci} = T_{det}$$

Donde:

$T_{det}$  = Tiempo de detección. Las manifestaciones del incendio son percibidas (30-60 s).

- Tiempo de respuesta del resto de coches adyacentes:

$$T_{ca} = T_{det} + \sum_{i=coche\ 1}^{coche\ n} T_{rec,i}$$

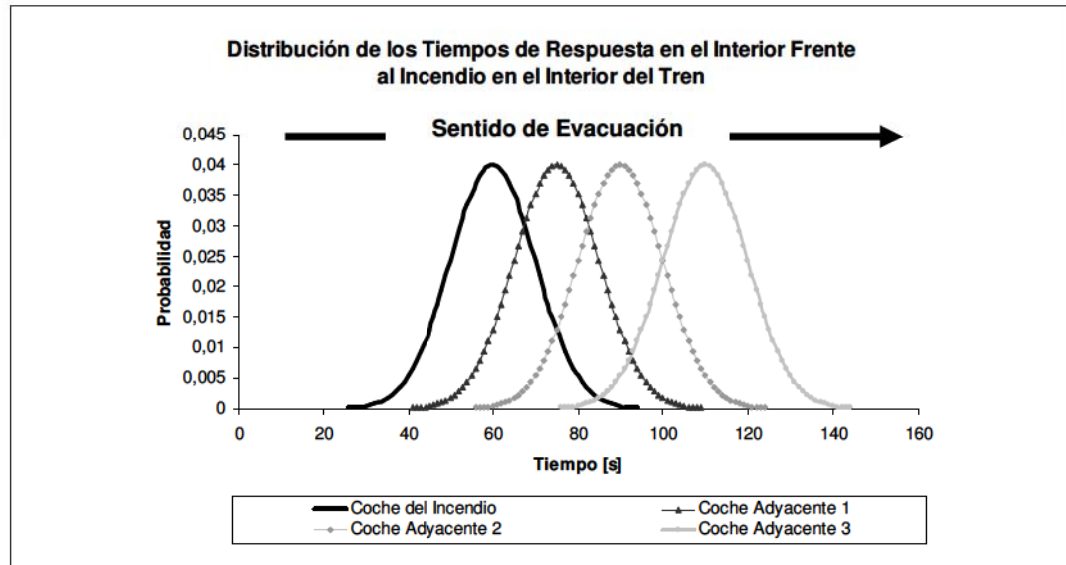
Donde:

$T_{rec}$  = tiempo medio empleado por los pasajeros en llegar al coche adyacente.

Se implantaron en el Modelo tiempos de respuesta en función de la ley de distribución de probabilidad normal tomando como criterio la ubicación respecto al foco del incendio tal y como se muestra en la Figura 3.

En los escenarios en que no se consideró la intervención de los miembros de la tripulación se consideraron los tiempos de respuesta correspondientes al Coche del Incendio y al Coche Adyacente (Escenario

Figura 3. Tiempos de respuesta en el interior del tren en función de la ubicación respecto al incendio



2.1, 2.3, 3.1 y 3.3). Para el resto de escenarios (Escenario 2.2, 2.4, 3.2 y 3.4) se asumió la intervención de la tripulación en la gestión del flujo de pasajeros en sentido opuesto al incendio y los tiempos de respuesta fueron implementados para los cuatro coches más próximos al incendio (ver Figura 3).

En el caso de evacuación del tren hacia el exterior se consideraron dos situaciones que influyeron en el tiempo de respuesta del resto de pasajeros del tren:

- **Aviso de la emergencia una vez detenido el tren (Evacuación Total).** Una vez detenido el tren, los pasajeros fueron informados por el maquinista y/o la tripulación de emergencia y de la necesidad de acometer la evacuación del tren. El tiempo de respuesta fue introducido acorde a la ley de distribución de probabilidad normal con una esperanza matemática de 30 segundos y una desviación estándar de 15 segundos. Este parámetro se corresponde con los Escenarios 1.1, 1.3, 2.1, 2.3, 3.1 y 3.3.
- **Aviso de la emergencia antes de la detención del tren (Evacuación Controlada).** Los pasajeros fueron informados de la situación a través del sistema de megafonía o por la tripulación, antes de la parada del

tren. En este caso la respuesta de los pasajeros fue simultánea ya que se encontraban preparados para iniciar la evacuación. Este parámetro se corresponde con los Escenarios 1.2, 1.4, 2.2, 2.4, 3.2 y 3.4.

El Modelo empleado permite implementar otras variables de conducta que influyen en las decisiones y acciones durante el proceso de la evacuación. Estas variables de conducta son: conductas colectivas, coeficiente de paciencia y coeficiente de familiaridad. A tales efectos se implementaron en el Modelo grupos de ocupantes PMR (Personas con Movilidad Reducida) asumiendo que realizaron los movimientos de evacuación con la ayuda o asistencia de otro pasajero. Para reproducir las conductas vinculadas a los niveles de ansiedad y urgencia de los pasajeros, el Modelo permite implementar el coeficiente de paciencia que oscila entre 0 y 1. Se asignaron los valores por defecto de 0.5 para aquellos pasajeros que no tuvieron contacto directo con la amenaza. Para aquellas personas provenientes de los coches de pasajeros afectados por el incendio se aplicó un coeficiente de paciencia  $< 0.5$ . Respecto al grado de familiaridad, se asumió que todos los pasajeros tuvieron una idea aproximada de la localización de las salidas del tren. Esta



variable es susceptible de aplicación en entornos y edificios con geometrías complejas con varias rutas de evacuación disponibles.

**6. RESULTADOS OBTENIDOS**

**6.1. Análisis de las Condiciones de Evacuación**

En este análisis se identificaron las situaciones de riesgo potencial para los pasajeros determinando las zonas críticas y los condicionantes de los diferentes sistemas de evacuación considerados. Se realizó, asimismo, un análisis comparativo entre los resultados obtenidos bajo la hipótesis del empleo de diferentes estrategias de evacuación.

En los escenarios de incendio se analizaron los datos cuantitativos sobre el tiempo de permanencia de los pasajeros en los coches implicados en el incendio y su tiempo de exposición a los efectos nocivos del mismo. Los resultados obtenidos sobre los movimientos de evacuación en el interior del tren en caso de incendio indicaron que la seguridad de los ocupantes más cercanos al incendio depende en gran medida de la

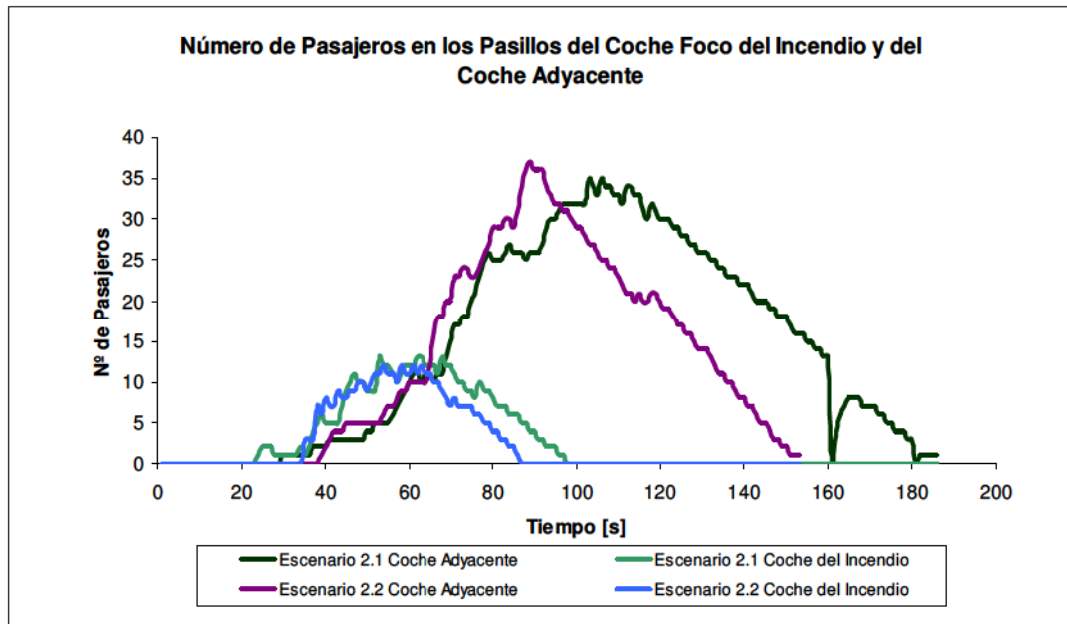
**Tabla 5**

TIEMPOS DE EVACUACIÓN DE LOS COCHES IMPLICADOS EN EL INCENDIO EN EL COCHE EXTREMO TURISTA

Escenario	Coche del Incendio	Coche Adyacente
Tiempos de Evacuación por el interior del Tren de la Serie 102 (s)		
Escenario 2.1	95	180
Escenario 2.2	55	152
Escenario 3.1	86	159
Escenario 3.2	76	136
Flujo de la Evacuación →		
Tiempos de Evacuación por el interior del Tren de la Serie 130 (s)		
Escenario 2.1	84	113
Escenario 2.2	75	114
Escenario 3.1	67	115
Escenario 3.2	76	112
Flujo de la Evacuación →		

conducta y características de los primeros pasajeros en reaccionar. En el interior de los trenes, el movimiento de los pasajeros se realiza en fila de a uno por los pasillos disponibles en cada uno de los coches de pasajeros. Esto produce un alargamiento de

**Figura 4.** Número de pasajeros en los pasillos del Coche del Incendio y del Coche Adyacente: Escenario 2.1 y 2.2 incendio en el Coche Extremo Turista





la cola y consecuentemente, en situaciones en que no se produce la intervención de la tripulación, una falta de interacción entre los pasajeros de delante y los pasajeros del final de la cola. Tal y como se muestra en la Tabla 5 los tiempos de evacuación obtenidos para el tren de la Serie 102 indicaron las ventajas de la intervención de la tripulación en la gestión del flujo de pasajeros por el interior del tren en la reducción del tiempo de exposición de los pasajeros los efectos nocivos del incendio.

En estas condiciones, las acciones de los pasajeros de delante determinan extraordinariamente el proceso de evacuación. Al mismo tiempo, si estos pasajeros se detienen, pueden poner en grave peligro la seguridad de los últimos pasajeros cercanos incendio. Como se muestra en la Figura 4, en el Tren de la Serie 102 el avance de los pasajeros fue diferente en ambos escenarios. En el Escenario 2.1 los pasajeros de delante, una vez alcanzado un lugar libre de las manifestaciones nocivas del incendio detuvieron su desplazamiento, aumentando el tiempo de exposición de los últimos pasajeros e incrementando los tiempos de evacuación de los coches implicados en el incendio. Por su lado, en el caso del Escenario 2.2 donde se consideró la intervención de la tripulación en la gestión del flujo de pasajeros por el interior del tren, el tiempo de evacuación fue menor que en el Escenario 2.1, debido a que se permitió la

evacuación de los pasajeros más cercanos al incendio. Los resultados obtenidos demostraron la necesidad de aplicar un procedimiento de gestión del flujo de pasajeros durante el proceso de evacuación.

No obstante, tal y como se muestra en la Tabla 6, en el caso del Tren de la Serie 130, debido a la composición de los coches del tren, la hipótesis de un evento de incendio en el coche cafetería, puede comprometer la seguridad de los pasajeros. Los pasajeros ubicados en el Extremo Preferente contaron con poca distancia para alejarse del incendio (dos coches de pasajeros) y poca superficie disponible. La conducta de los pasajeros generalmente suele ser razonable y son poco probables las conductas desordenadas o de pánico, en estos casos puede requerirse una actuación rápida en los procesos de decisión concernientes a la parada del tren para acometer la evacuación de los pasajeros lo antes posible. [20]. Los resultados mostraron el impacto del número y disponibilidad de las salidas existentes y de las actividades realizadas antes de la detención del tren. Los casos más desfavorables se produjeron en el Escenario 2.1 para ambos trenes, en que no se simuló la intervención de la tripulación y los pasajeros evacuados de la zona del incendio se concentraron en las salidas de los coches más próximos.

Los tiempos de evacuación obtenidos considerando una gestión de la emergencia, tuvieron un impacto favorable en la

**Tabla 6**

TIEMPOS DE EVACUACIÓN DE LOS COCHES IMPLICADOS EN EL INCENDIO  
EN EL COCHE CAFETERÍA

Escenario	Coche 08	Coche 07	Coche del Incendio	Coche 05	Coche 04
Tiempos de Evacuación por el interior del Tren de la Serie 102 (s)					
Escenario 3.1	—	133		81	110
Escenario 3.2	180	93		79	112
Escenario 3.3	176	122		91	99
Escenario 3.4	161	108		88	119
Flujos de Evacuación	←—————			—————→	
Escenario	Coche 06	Coche 05	Coche del Incendio	Coche 02	Coche 01
Tiempos de Evacuación por el interior del Tren de la Serie 130 (s)					
Escenario 3.1	148	89		97	—
Escenario 3.2	141	93		79	—
Escenario 3.3	133	88		70	—
Escenario 3.4	137	85		78	—
Flujos de Evacuación	←—————			—————→	

consecución de evacuación más rápida y efectiva hacia el exterior del tren.

Una estrategia adecuada en la gestión del movimiento de los pasajeros por el interior del tren puede conseguir que, una vez que esté detenido el vehículo, la proporción del

número de pasajeros por salida sea más equitativa minimizando los tiempos de evacuación. En las Figuras 5 y 6 se muestra una comparativa del número de pasajeros por salida y el tiempo de Evacuación a Andén en el caso del Tren de la Serie 130.

Figura 5. Tiempos de Evacuación a Andén del Tren de la Serie 130

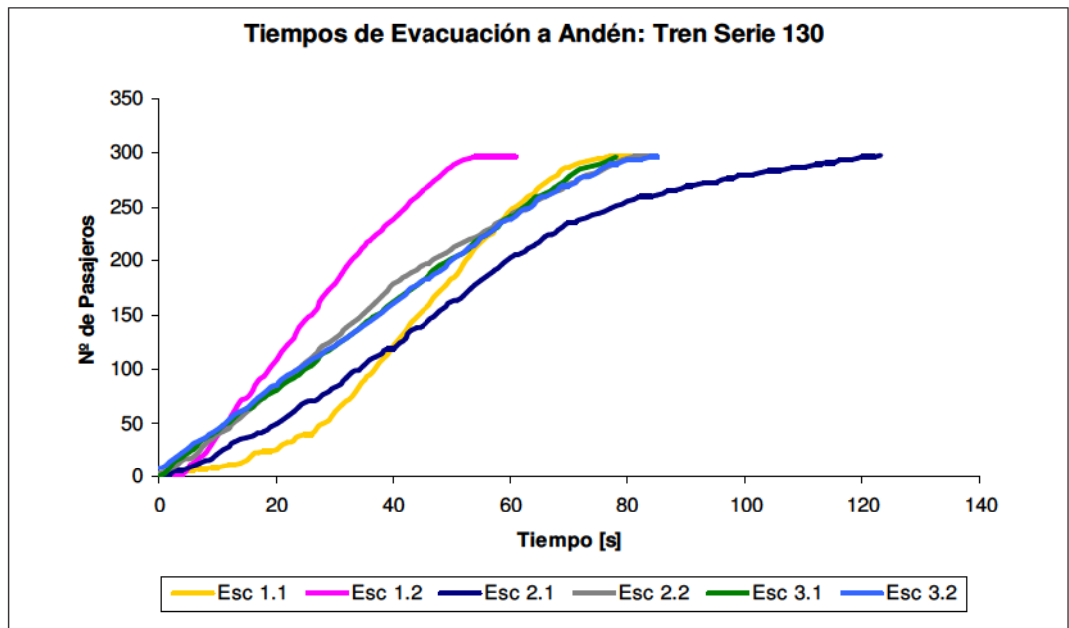
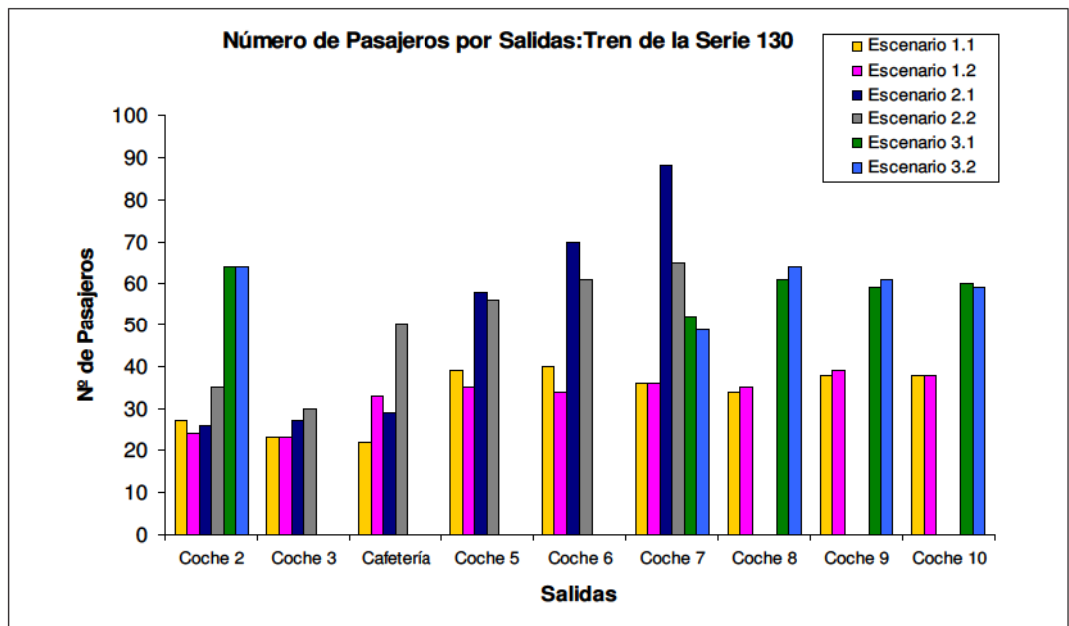


Figura 6. Número de pasajeros por salidas para el Tren de la Serie 130: Evacuación a Andén



**Tabla 7**

## TIEMPOS DE EVACUACIÓN DE LOS TRENES A BALASTRO

Escenario	Condiciones	N.º de salidas utilizadas	Tiempo de evacuación (s)
<b>Tren de la Serie 102</b>			
1.3	Básicas	1	862
1.4	Básicas	1	834
2.3	Incendio coche Ext.Turista	1	856
2.4	Incendio coche Ext.Turista	1	910
3.3	Incendio coche Cafetería	2	624
3.4	Incendio coche Cafetería	2	617
<b>Tren de la Serie 130</b>			
1.3	Básicas	1	800
1.4	Básicas	1	771
2.3	Incendio coche Ext.Turista	1	738
2.4	Incendio coche Ext.Turista	1	743
3.3	Incendio coche Cafetería	2	582
3.4	Incendio coche Cafetería	2	598

El proceso de evacuación hacia el exterior del tren en los casos de evacuación directamente a balastro estuvo determinado por el número y capacidades limitadas de los elementos auxiliares de evacuación. En los casos de evacuación por un medio auxiliar de evacuación, los tiempos obtenidos fueron muy similares (ver Tabla 7).

Desde el punto de vista cualitativo, en los escenarios en que se consideró incendio en el interior de los trenes, la gestión de flujos asumida por la intervención de los miembros de la tripulación primando el flujo entrante en las salidas de los pasajeros provenientes del extremo del tren en que se encontraba localizado el incendio, no sólo supuso un alejamiento

**Figura 7.** Comparativa sobre el tiempo de paso y permanencia de pasajeros por el interior Tren de la Serie 130

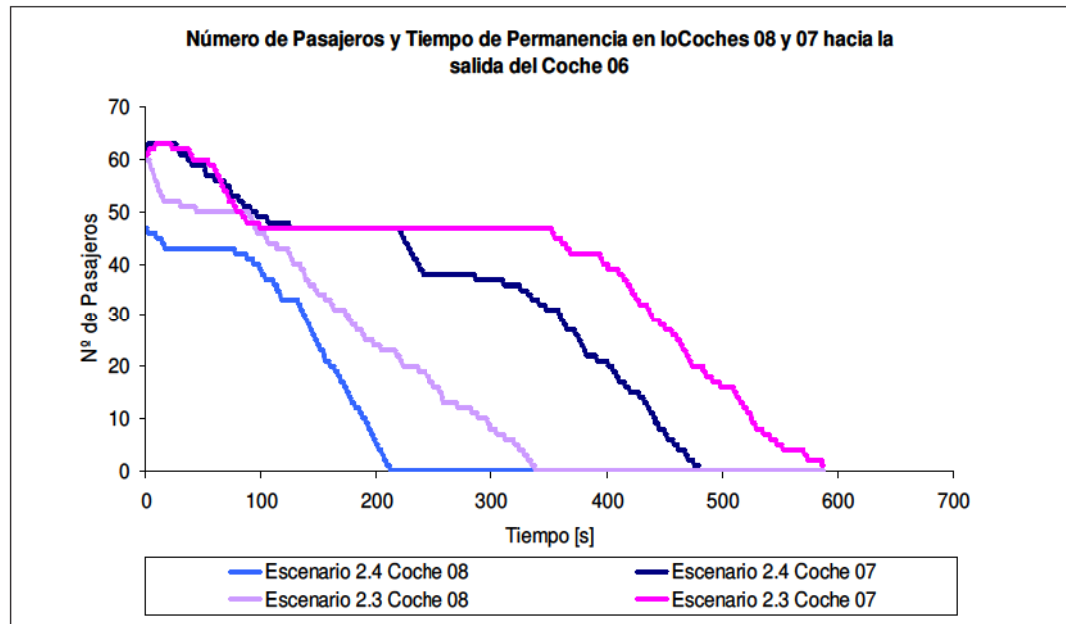
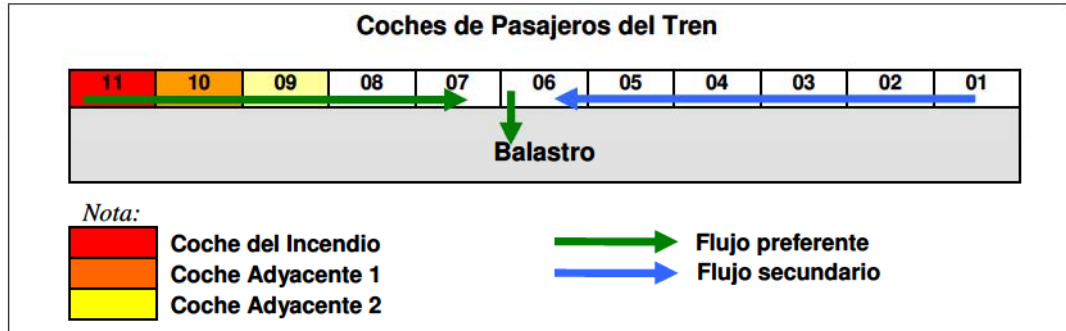




Figura 8. Esquema del Escenario de Evacuación 2.4 en el Tren S 130



más rápido de los pasajeros de la zona de peligro sino que sus movimientos se realizaron en las mejores condiciones y libres de congestiones. En la Figura 8 se muestra un esquema del escenario de evacuación considerado en caso de incendio en el Coche Extremo Turista para el Tren de la Serie 130. Tal y como se muestra en la Figura 7, los resultados obtenidos para el Tren de la Serie 130, en los escenarios en que se consideró un incendio en el Coche Extremo Turista, los tiempos de permanencia en los diferentes coches del tren que conducen hacia la única salida disponible, demostraron la conveniencia de la aplicación del procedimiento primando el flujo entrante de pasajeros provenientes del extremo del tren afectado.

6.2. Cálculo del RSET

Para adecuar los aspectos relacionados con la seguridad de los pasajeros en caso de emergencia se aplican dos conceptos [21, 22]:

1. **ASET** (*Available Safe Egress Time*). El tiempo disponible para la evacuación, viene determinado por las características de la emergencia y, en caso de incendio, el tiempo de sostenibilidad vital.
2. **RSET** (*Required Safe Egress Time*). Es el tiempo empleado para la evacuación de los pasajeros en condiciones de seguridad hacia un espacio exterior seguro. Este tiempo viene determinado por las características del sistema de evacuación, las estrategias empleadas y las características y conducta de los

pasajeros durante el proceso de la evacuación.

La relación que garantiza la seguridad de los pasajeros en la evacuación es **ASET > RSET**. En la Figura 9 se muestra un esquema de los componentes temporales implicados en el tiempo requerido para la evacuación de los pasajeros en caso de emergencia. A diferencia de otros entornos, tales como en edificios, un componente temporal clave para el cálculo del RSET, es el tiempo necesario para la detención del tren que depende de diversos factores tales como las propias condiciones de la emergencia, el tiempo de respuesta y toma de decisiones del maquinista, las diferentes posibilidades en la parada del tren y zonas adecuadas para hacerlo, etc. El RSET es la suma de los siguientes componentes temporales básicos:

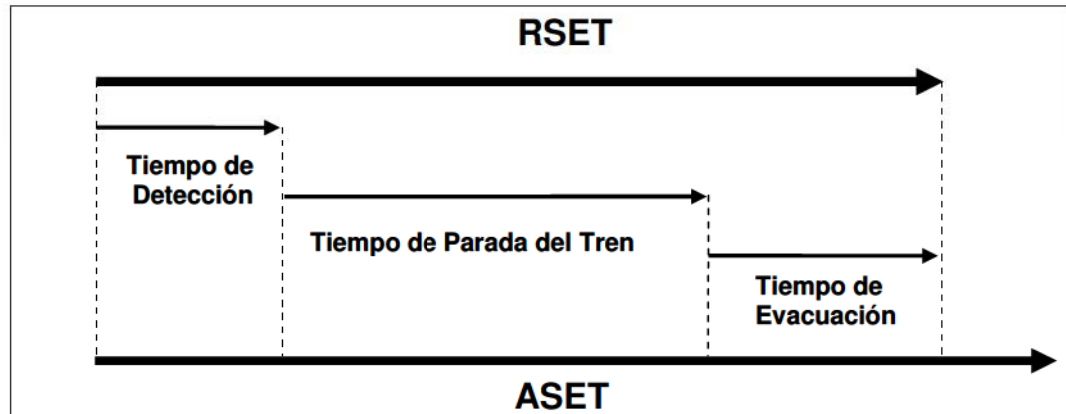
$$RSET = T_{det} + T_{par} + T_{evac}$$

Donde:

- $T_{det}$  = tiempo detección.
- $T_{par}$  = tiempo de parada del tren.
- $T_{evac}$  = tiempo que transcurre desde la parada del tren y notificación de la alarma hasta que el último pasajero sale del tren.

Para cada uno de los escenarios se realizaron 100 simulaciones con un total de 2.400 iteraciones (1.200 simulaciones para cada uno de los trenes considerados) que, debido al carácter estocástico de las variables de entrada en el Modelo aportaron diferentes tiempos de evacuación. Para obtener las Funciones de Densidad de Probabilidad de los resultados

Figura 9. Componentes temporales básicos del RSET en trenes de pasajeros



obtenidos y comprobar a qué Ley de Distribución de Probabilidad a las que se someten, se empleó un programa desarrollado por el Equipo Investigador en Microsoft Visual C# 2008 Express Edition sobre tecnología NET Framework 3.5 SP1. Este programa permite introducir los datos de la muestra a partir de un archivo de texto (\*.txt) y elegir el nivel de significación deseado del ajuste ( $\alpha = 0.1, 0.05, 0.025, 0.01$ ), se determina si la muestra se ajusta a las distribuciones normal, normal logarítmica, uniforme o a ninguna de ellas. La muestra estadística obtenida sobre los tiempos de evacuación se sometió a la ley de distribución de probabilidad normal cuyo ajuste se realizó mediante el Método  $K^2$  D' Agostino con un

valor de significación de 0.05 que equivale a un nivel de confianza de  $\alpha = 0.95$  (95%) que resultó ser el más apropiado para muestras estadísticas superiores a 25 ( $n \geq 25$ ).

En la Tabla 8 se muestran los tiempos totales de Evacuación a Andén obtenidos para los dos trenes objeto de análisis.

Tal y como se muestra en las Figuras 10 y 11 (página siguiente) los resultados indicaron que en caso de incendio en el interior del Tren de la Serie 102 y evacuación de los pasajeros a andén, los tiempos de evacuación con un nivel de confianza del 95 % serían iguales o menores a 4 minutos (240 segundos). El tiempo requerido para la evacuación de los pasajeros varió considerablemente en función de las

Tabla 8

## TIEMPOS TOTALES OBTENIDOS EN EL CASO DE EVACUACIÓN A ANDÉN

Tren S 102	Condiciones del sistema de evacuación	Media (s)	Desviación estándar (s)
Escenario 1.1	Condiciones Básicas	111.74	16.86
Escenario 1.2	Condiciones Básicas	53.73	9.52
Escenario 2.1	Incendio Coche Extremo Turista	176.73	17.00
Escenario 2.2	Incendio Coche Extremo Turista	123.78	9.19
Escenario 3.1	Incendio Coche Cafetería	140.51	20.10
Escenario 3.2	Incendio Coche Cafetería	103.08	22.37
Tren S 130	Condiciones del sistema de evacuación	Media (s)	Desviación estándar (s)
Escenario 1.1	Condiciones Básicas	86.34	15.68
Escenario 1.2	Condiciones Básicas	54.78	14.44
Escenario 2.1	Incendio Coche Extremo Turista	120.33	14.92
Escenario 2.2	Incendio Coche Extremo Turista	83.02	13.78
Escenario 3.1	Incendio Coche Cafetería	84.97	14.48
Escenario 3.2	Incendio Coche Cafetería	84.34	14.43

Figura 10. Distribución de probabilidad acumulada sobre los tiempos totales de evacuación para los Escenarios 2.1, 2.2, 3.1 y 3.2

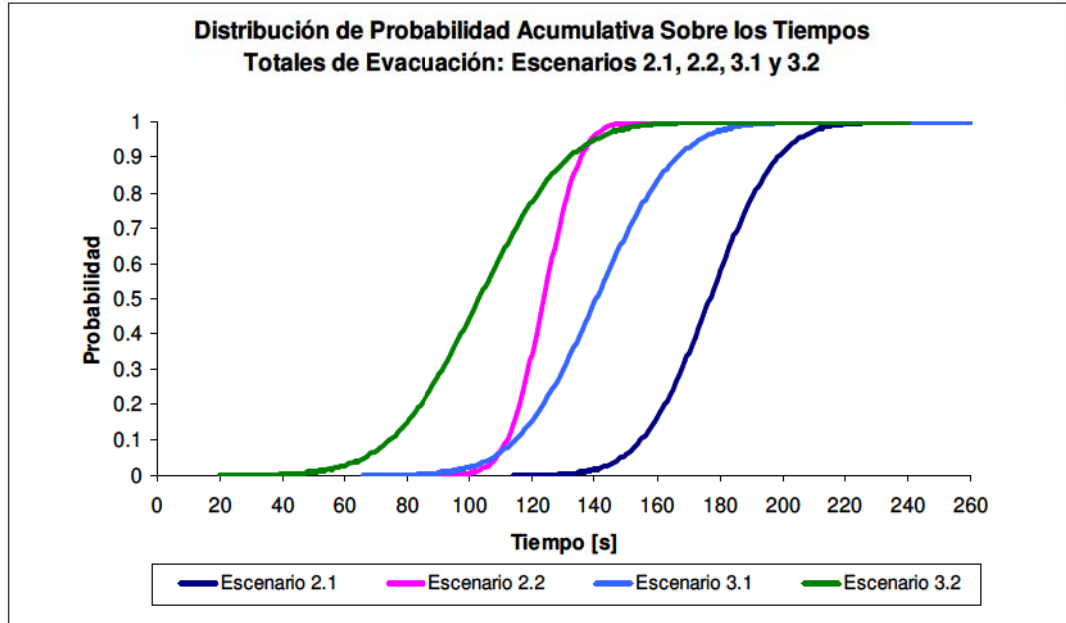
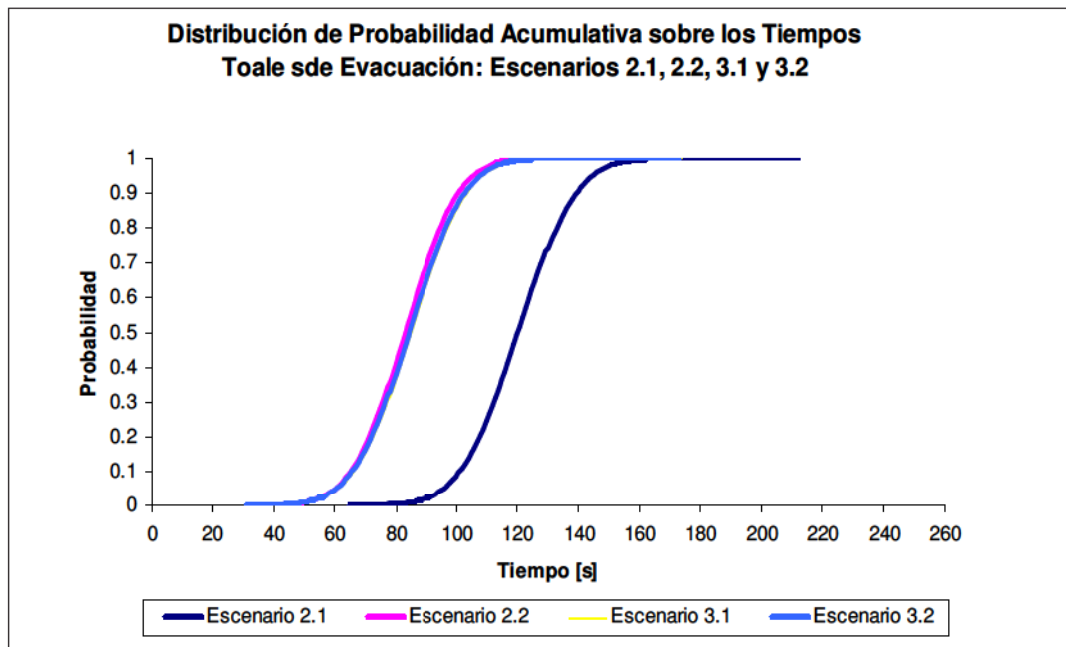


Figura 11. Distribución de probabilidad acumulada sobre los tiempos totales de evacuación para los Escenarios 2.1, 2.2, 3.1 y 3.2



condiciones planteadas en los diferentes escenarios relativos a la gestión y naturaleza de la propia situación de emergencia considerada.

Los resultados obtenidos para el Tren de la Serie 130 indicaron que el caso más desfavorable se produjo en el Escenario 2.1 en que los tiempos totales de evacuación



llegaron hasta los 212 (3 minutos y 31 segundos). Las causas del incremento en los tiempos totales de evacuación en el Escenario 2.1 respondieron a las condiciones del sistema de evacuación en que se encontró disminuido el número de salidas disponibles con un elevado número de pasajeros que optaron por utilizar las salidas de los Coches Adyacentes más próximos al incendio.

Tal y como se muestra en la Tabla 9, los resultados indicaron que en caso de Evacuación a Balastro a través de un medio auxiliar de evacuación para el Tren de la Serie 102 los tiempos obtenidos tuvieron un promedio de 14 minutos y 21 segundos (861 segundos). Para el Tren de la Serie 130, los resultados obtenidos tuvieron un promedio de 13 minutos y 3 segundos (783 segundos).

Las ventajas del empleo de dos medios auxiliares de evacuación en el caso de detención del tren para acometer la evacuación a balastro quedaron bien reflejadas en los resultados. No obstante, es necesario considerar el tiempo requerido para la colocación de ambos elementos auxiliares de evacuación. El proceso de colocación de la escalera se divide en los siguientes componentes temporales:

1. Tiempo de desplazamiento hasta la zona donde se encuentra ubicada la escalera en el tren. En el caso del Tren

de la Serie 102 la escalera de emergencia se encuentra ubicada en la cabeza tractora 2.

2. Tiempo necesario para la liberación de la escalera.
3. Tiempo de transporte de los dos tramos de la escalera hasta la zona deseada.
4. Tiempo de montaje de la escalera.

A fin de obtener una estimación sobre los tiempos necesarios para la ubicación de la escalera de emergencia en el tren de mayor longitud de los trenes analizados (Tren de la Serie 102) se realizaron diversas simulaciones modificando los parámetros de ubicación inicial de la tripulación y el coche de destino para la colocación de la escalera.

Los datos de entrada en el Modelo se describen en la Tabla 10.

Los resultados obtenidos sobre el proceso de colocación de la escalera de emergencia se muestran en las Tabla 11 y 12 (página siguiente).

**Tabla 10**

INPUTS CONSIDERADOS PARA SIMULAR EL MONTAJE DE LA ESCALERA DE EMERGENCIA

Parámetros	Media	Desviación Estándar
Velocidad de desplazamiento (m/s)	0.63	0.24
Tiempo de liberación de la escalera (s)	30	15
Tiempo de montaje de la escalera	60	30

**Tabla 9**

TIEMPOS TOTALES OBTENIDOS EN EL CASO DE EVACUACIÓN A BALASTRO

Tren S 102	Condiciones del sistema de evacuación	Media (s)	Desviación estándar (s)
Escenario 1.3	Condiciones Básicas	858.95	17.43
Escenario 1.4	Condiciones Básicas	842.27	17.65
Escenario 2.3	Incendio Coche Extremo Turista	867.54	18.30
Escenario 2.4	Incendio Coche Extremo Turista	878.17	17.68
Escenario 3.3	Incendio Coche Cafetería	621.46	28.54
Escenario 3.4	Incendio Coche Cafetería	637.46	26.36
Tren S 130	Condiciones del sistema de evacuación	Media (s)	Desviación estándar (s)
Escenario 1.3	Condiciones Básicas	796.90	19.92
Escenario 1.4	Condiciones Básicas	778.40	10.41
Escenario 2.3	Incendio Coche Extremo Turista	778.26	13.71
Escenario 2.4	Incendio Coche Extremo Turista	778.95	10.51
Escenario 3.3	Incendio Coche Cafetería	602.36	14.75
Escenario 3.4	Incendio Coche Cafetería	600.79	7.20

**Tabla 11**

TIEMPOS ESTIMADOS EN LA COLOCACIÓN DE LA ESCALERA: ORIGEN DE LA TRIPULACIÓN EN EL COCHE EXTREMO TURISTA Y COCHE ACCESIBLE CON UN SOLO SUPERVISOR

Tiempo estimado ( $t_1$ )		Tiempo estimado ( $t_2$ )		Coche de Destino
Origen: Coche Accesible (Coche 07)	Origen: Coche Extremo Turista (Coche 12)	Origen: Coche Accesible (Coche 07)	Origen: Coche Extremo Turista (Coche 12)	
—	12 min 43 seg	—	11 min 24 seg	Coche 4
12 min 59 seg	11 min 24 seg	12 min 45 seg	10 min 42 seg	Coche 5
12 min 12 seg	10 min 56 seg	11 min 10 seg	10 min 34 seg	Coche 6
10 min 56 seg	8 min 23 seg	10 min 35 seg	9 min 02 seg	Coche 7
8 min 50 seg	6 min 28 seg	9 min 20 seg	6 min 18 seg	Coche 8
7 min 36 seg	5 min 21 seg	8 min 51 seg	6 min 07 seg	Coche 9
6 min 25 seg	4 min 24 seg	7 min 03 seg	5 min 36 seg	Coche 10
6 min 02 seg	3 min 47 seg	6 min 51 seg	4 min 12 seg	Coche 11

$t_1$ : tiempo total que emplea el supervisor en colocar la escalera de emergencia y desalojar el tren por la misma.

$t_2$ : tiempo total que emplea el supervisor en colocar la escalera de emergencia y sin desalojar el tren.

**Tabla 12**

TIEMPOS ESTIMADOS EN LA COLOCACIÓN DE LA ESCALERA CON ORIGEN DE 2 MIEMBROS DE LA TRIPULACIÓN EN EL COCHE EXTREMO TURISTA

Tiempo estimado ( $t_2$ )	Coche de Destino
Origen del supervisor 1 y 2: Coche Extremo Turista (Coche 12)	
7 min 01 seg	Coche 1
6 min 53 seg	Coche 2
5 min 59 seg	Coche 3
6 min 37 seg	Coche 4
5 min 40 seg	Coche 5
5 min 37 seg	Coche 6
4 min 50 seg	Coche 7
4 min 05 seg	Coche 8
4 min 24 seg	Coche 9
3 min 54 seg	Coche 10
3 min 21 seg	Coche 11

$t_2$ : tiempo total que emplea el supervisor en colocar la escalera de emergencia y sin desalojar el tren.

Los resultados indicaron que los tiempos de colocación de la escalera de emergencia son variables en un rango entre los 3 minutos y 21 segundos y los 12 minutos y 56 segundos. Asimismo, para la colocación de la escalera, resulta necesaria la participación de dos personas o miembros de la tripulación a fin de minimizar al máximo posible el tiempo de traslado de este medio de

evacuación por el interior del tren hasta la zona deseada.

En los casos en que los tiempos de colocación de la escalera de emergencia fueron inferiores al tiempo estimado de parada del tren, el empleo de dos medios de evacuación puede resultar ventajoso. No obstante, en el caso de detención del tren lo antes posible para realizar la Evacuación a Balastro, una respuesta rápida por parte de los miembros del personal en la liberación, traslado y montaje de la escalera de emergencia supondría una estrategia adecuada en la consecución de una salida rápida y en las mejores condiciones de seguridad para los pasajeros. Todo depende del grado de preparación de la tripulación y del tipo de emergencia.

En Evacuación a Andén, para ambos trenes considerados en el Estudio, los tiempos totales de evacuación se encontraron influenciados por las condiciones del sistema de evacuación y por las estrategias adoptadas en el interior del tren. Esta influencia se apreció de forma más significativa en los resultados obtenidos para el Escenario 2.1 siendo el caso más desfavorable con tiempos requeridos para la evacuación con un nivel de confianza del  $95\% \leq 3$  minutos y 32 segundos (212 segundos). No obstante, en los Escenarios 3.1 y 3.2 el impacto de las condiciones del sistema de evacuación fue mínimo debido a la ubicación del

incendio respecto a la propia composición del Tren de la Serie 130. La relación del número de pasajeros por salida en estas circunstancias no supuso una saturación de las capacidades de los medios de evacuación disponibles.

Por su lado se puede afirmar que la evacuación a balastro, el tiempo necesario para que todos los pasajeros accedan a un espacio exterior seguro se encuentra fuertemente influenciado por las limitadas capacidades y número de medios auxiliares de evacuación disponibles. En el caso de Evacuación a Balastro, la situación más desfavorable se produjo en el Escenario 2.4 (incendio en el coche extremo turista) con tiempos con un nivel de confianza del 95 %  $\leq 16$  minutos (960 segundos).

## 7. CONCLUSIONES

A la vista de los resultados obtenidos en el Modelado de Simulación Computacional de Evacuación en el análisis de las condiciones del sistema de evacuación y la estimación de los tiempos requeridos para salir del tren, se pueden afirmar las siguientes conclusiones:

1. Las limitaciones del espacio disponible en el interior de los trenes son un factor determinante para la seguridad de los pasajeros. Los resultados obtenidos han demostrado que en caso de incendio en el interior del tren, es necesaria la intervención de la tripulación a fin de evitar paradas de pasajeros mediante la evacuación.
2. La gestión del flujo de pasajeros en los movimientos de pre- evacuación tuvieron un impacto positivo en la evacuación de los coches implicados en el incendio y permitieron una distribución adecuada del número de pasajeros por salida.
3. En el caso de Evacuación a Balastro con salida disponible reducida, la Evacuación Controlada considerando el desalojo de los pasajeros más cercanos al incendio reduce el riesgo de exposición de los pasajeros a los efectos del incendio y permite su movimiento en condiciones de seguridad libres de congestiones.
4. Para realizar una evacuación efectiva, es necesario un comportamiento ordenado y supervisado por los miembros de la tripulación. No se pueden permitir conductas competitivas por acceder a las salidas.
5. En los casos en que el tren dispone de varias salidas disponibles, una comunicación de la emergencia previa a la parada del vehículo, permite a los pasajeros estar preparados para acometer la evacuación hacia el exterior minimizando el tiempo necesario de salida del tren. Las señales con mensajes directos y verbales transmitidos por el maquinista y los miembros de la tripulación, resultan esenciales para producir una respuesta apropiada.
6. Las limitaciones del número y capacidades de los medios auxiliares de evacuación determinaron extraordinariamente los tiempos totales de evacuación a balastro. Ante estas circunstancias se plantean varias soluciones:
  - El empleo de medios auxiliares de evacuación más resistentes que permitan el paso de más de dos personas de forma simultánea a fin de incrementar el flujo de pasajeros durante el proceso de evacuación.
  - La ubicación de dos escaleras de emergencia. Una en cada cabeza motriz del tren a fin de garantizar la disponibilidad de al menos un medio auxiliar de evacuación. En muchos casos la ubicación de un segundo medio auxiliar de evacuación es necesaria por ejemplo en el caso de incendio en el coche cafetería.
  - El empleo de más de un medio auxiliar de evacuación debe contribuir a la optimización de los tiempos de evacuación.
  - Para la colocación de los medios auxiliares de evacuación es necesario tener en cuenta: la propia situación de emergencia, el número de pasajeros por salida y además el tiempo empleado en la liberación, traslado, y montaje.



### AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Secretaría de Estado e Infraestructuras y Planificación del Ministerio de Fomento por el apoyo y la colaboración para la realización del presente Estudio al amparo de la

Convocatoria para el año 2008, de las Subvenciones para la realización de estudios y acciones de difusión relacionados con el transporte, sus infraestructuras, y demás competencias del Ministerio de Fomento (ORDEN FOM/2219/2008, de 22 de julio) publicada en el BOE n.º 182 del 29 de julio de 2008.

### REFERENCIAS

- [1] CAPOTE, J.; ALVEAR, D.; ABREU, O. y CUESTA, A. (2008). "Análisis de los parámetros de entrada en el Modelado de Simulación Computacional de Evacuación", *Montajes e Instalaciones*, n.º 424, pp. 96-97, febrero.
- [2] GWYNNE, S. y GALEA, E.R. (2004). "A Review of Methodologies and Critical Appraisal of Computer Models Used in the Simulation of Evacuation from the built Environment", Bethesda, MD: Society of Fire Protection Engineers.
- [3] CAPOTE, J. A., *et al.* (2009). "Stochastic Egress Model for Passenger trains", *Advanced Research Workshop Fire Protection and Life Safety in Buildings and Transportation Systems*, Santander, España.
- [4] CAPOTE, J. A., *et al.* (2008). "Evacuation modelling of fire scenarios in passenger trains", *4<sup>th</sup> Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics 2008*, Wuppertal, Germany 2008. In press.
- [5] CAPOTE, J. A., *et al.* (2009). "An Evacuation Simulation Method for High Speed Passenger Trains", *4<sup>th</sup> International Symposium Human Behaviour in Fire 2009*, Cambridge, UK.
- [6] MOTT, MACDONALD. "STEPS Simulation of Transient and Pedestrian movements User Manual," unpublished, available with egress model from Mott MacDonald.
- [7] GWYNNE, S. M. y KULIGOWSKI, E. D. "Application Modes of Egress Simulation" *4<sup>th</sup> International Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics*, pre print.
- [8] KULIGOWSKI, E. D. (2005). "Review of 28 Egress Models" NIST SP 1032; January, (National Institute of Standards and Technology), *Workshop on Building Occupant Movement During Fire Emergencies Proceeding*, pp. 68-90.
- [9] CAPOTE, J.; ALVEAR, D.; ABREU, O. y CUESTA, A. (2008). "Ventajas y Limitaciones del MSCE", Cuadernos de Seguridad, n.º 221, pp. 64-70, marzo.
- [10] CAPOTE, J. (2006). "Estudio de las Condiciones de evacuación en caso de Emergencia en una Estación de Transporte Masivo de Pasajeros con el Empleo del Modelado y Simulación Computacional. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cantabria. ISBN: 84-8102-982-3.
- [11] HOFMAN, N. A. y HENSON, D. A. (1997). "Simulating Transient Evacuations in Stations," *Mott MacDonald Group, Presented at the APTA Rapid Transit Conference*, Washington DC, USA, june.
- [12] HOFFMAN, N. A. y HENSON, D. A. (1997). "Simulating Emergency Evacuation of a Crush Loaded Train in a Tunnel. In *3<sup>rd</sup> International Conference on Safety in Road and Rail Tunnels* Nice, Francia.
- [13] WALL, J. M. y WATERSON, N. P. "Predicting Evacuation Times-A comparison of the STEPS Simulation Approach With NFPA 130", *Mott MacDonald Limited, St. Anne House, Wellesley Road, Croydon CR 2UL*, Submitted to Fire Command Studies.
- [14] "NFPA 130 (2007). "Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems", *National Fire Protection Association, NFPA; 2007 Edition*.
- [15] MSC/CIR. (2002). 1033, *Intering Guidelines for Evacuation Analyses for New and Existing Passenger Ships*, (IMO) *International Maritime Organization*.
- [16] JIM, T. y YAMADA, T. (1989). "Experimental Study of Human Behaviour in Smoke-Filled Corridors", *Fire Safety Science-Proceedings of the Second International Symposium*, Hemisphere Publishing Corp., Washington, DC, pp. 511-519.
- [17] PARK, J. H.; KIM, H.; WHANG, J.; PARK, J. y LEE, D. (2005). *Development of an Agent-based Behaviour Module for Evacuation*

- Models-Focused on the behaviours in the Dark”, Pedestrian and Evacuation Dynamics.
- [18] BEMTHORN, L. y FRANZTICH, H. (1999). Fire Alarm in a Public Buildings: How do People Evaluate Information and Choose an Evacuation Exit? Fire and Materials, vol. 23, N.º 6, pp. 311-315.
- [19] GWYNNE, S.; GALEA, E. R. y LAWRENCE, P. J. (2006). The Introduction of Social Adaptation within Evacuation Modeling. Fire and Materials; 30: 285-309.
- [20] GALEA, E.R. y GWYNNE, S. (2000). Evacuation an overturned smoke filled rail carriage, London. Fire and Materials, vol. 24, Issue 6, pp. 291-302.
- [21] AVERILL, J. D.; RENEKE, P. y PEACOCK, R. D. “Required Safe Egress Time: Data and Modeling” 7<sup>th</sup> International Conference on Performance-Based and Fire Safety Desing Methods (In print).
- [22] BABRAUSKAS, V.; FLEMING, J. M. y RUSELL, B. D. (2009). “RSET/ASET, A Flawed Concept for Fire Safety Assessment”, 11<sup>th</sup> International Conference and Exhibition Fire and Materials 2009, San Francisco, USA.