

CAPÍTULO 8: APLICACIONES

8.1 APLICACIONES

En este capítulo se pretende mostrar la viabilidad de las propuestas realizadas en capítulos anteriores desde una perspectiva global, para ello se van a estudiar tres aplicaciones consistentes en resúmenes de estudios de evacuación en edificios de diferentes características. El primer caso corresponde al estudio de un edificio de pública concurrencia, el segundo al estudio de la evacuación de un recinto industrial y finalmente el estudio de un edificio escolar.

En el estudio de la evacuación de un edificio de pública concurrencia se pretende mostrar como en determinadas situaciones, aunque resulte complejo conocer las características de locomoción de los ocupantes, los procedimientos gráficos permiten obtener aproximaciones razonables para gestionar evacuaciones de emergencia. En el caso de un edificio industrial la situación que se plantea resulta mucho más controlada, en primer lugar se conocen las características de los ocupantes, el tipo de edificio permite que se hayan implantado procedimientos formales, lo que facilita que se puedan pronosticar determinados aspectos de comportamiento, los resultados es posible someterlos a un verdadero proceso de validación y finalmente la situación planteada se resuelve como un problema de evacuación de un recinto. En el estudio de la evacuación de un edificio escolar se trata de mostrar la utilidad de las redes dinámicas de flujo para obtener un conocimiento profundo del problema, y especialmente la posibilidad de realizar ajustes en las características que definen el sistema, así como considerar cambios en las condiciones arquitectónicas del edificio. De la misma forma que en el caso de un edificio industrial, corresponde a una situación en la cual existe un conocimiento ajustado de los factores del sistema.

8.2 ESTUDIO DE LA EVACUACIÓN DE UN RECINTO DE PÚBLICA CONCURRENCIA

Se debe estudiar la evacuación de un recinto destinado actos públicos: Ferias, convenciones, congresos y otros actos de características similares, caracterizados por la asistencia de gran número de personas que de forma espontánea u organizada acceden al recinto para participar en las actividades que se desarrollen en el mismo. Los responsables de la seguridad del recinto estaban muy interesados en conocer, aún que fuera de forma aproximada, el tiempo que podía suponer la evacuación de la totalidad de los ocupantes en función la disposición y/o la configuración física de las salidas. Los actos que se organizan dan lugar a una determinada configuración del espacio y distribución de la planta, siendo una circunstancia común que no resulten hábiles la totalidad de las salidas, de la misma forma en función de la afluencia de visitantes no se habilitan todos los accesos y en consecuencia tampoco resultan disponibles la totalidad de las salidas. Los responsables de la seguridad del recinto manifestaron el interés en disponer de herramientas que proporcionaran estimaciones de tiempos de evacuación y permitieran conocer la distribución adecuada hacia las salidas en situaciones de emergencia.

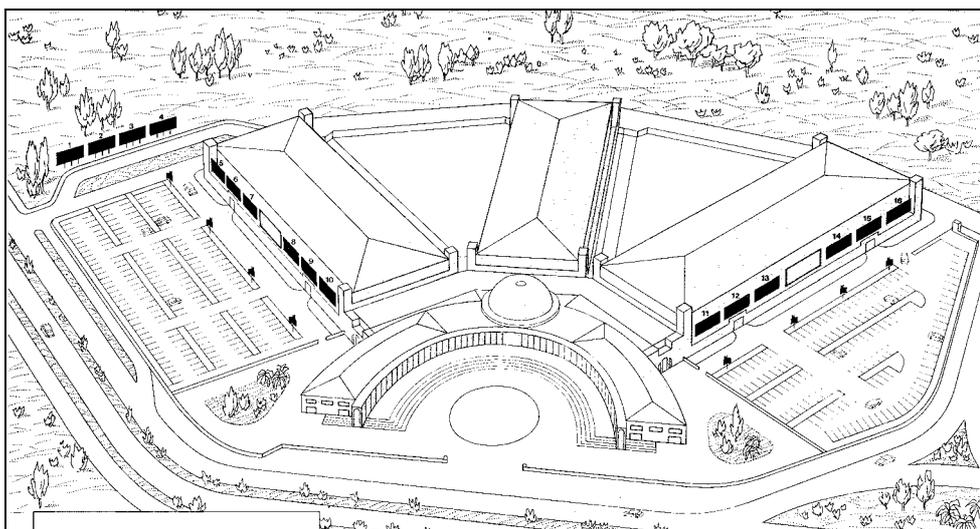


Figura 8.1 Vista general de un recinto de pública concurrencia

En la figura 8.1 puede observarse en una vista general del conjunto la existencia de tres pabellones, por ello se realizará el estudio por separado en cada una de estas tres dependencias. Los tres pabellones comunican con un pasillo central, en principio la evacuación de los mismos se puede suponer independiente. Aspectos más concretos del recinto pueden apreciarse en la figura 8.2 correspondiente al plano de la planta de la totalidad del conjunto.

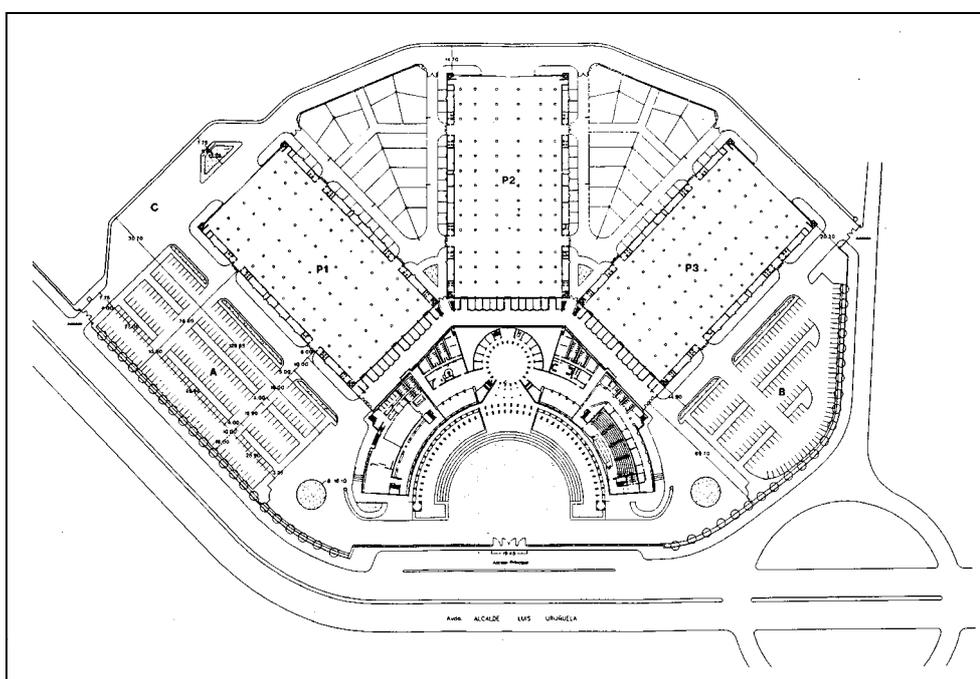


Figura 8.2 Planta del conjunto

8.2.1 Análisis de los factores característicos del problema

En primer lugar se analizan los factores que definen el sistema de evacuación. En cuanto a **la configuración del edificio** se puede observar que se trata de un recinto de una sola planta desde el que se accede directamente al exterior. Por tratarse el exterior de

una amplia zona ajardinada se considera un espacio seguro. Las salidas se hallan distribuidas en toda la planta, por lo que resulta razonable admitir la inexistencia de interferencia en el movimiento de los ocupantes que se dirigen a cada una de ellas. No existen medios mecánicos de desplazamiento, la señalización indica de forma razonablemente clara la ubicación de las salidas, y las actividades que se desarrollen no deben alterar esta característica del recinto. Las condiciones de iluminación deben permitir la evacuación en condiciones de luz diurna y en las condiciones de alumbrado habitual, por otro lado las luminarias de emergencia proporcionan alumbrado suficiente en caso de fallo del sistema de alumbrado habitual para salir del edificio, sin embargo no se hallan definidas las condiciones de evacuación hasta el punto de reunión. En la figura 8.3 puede observarse la planta correspondiente de cada uno de los tres pabellones, puede comprobarse que cada planta dispone de cinco salidas y hacia las mismas se hallan configuradas amplias zonas de paso, si bien en condiciones excepcionales podrían habilitarse otras dos salidas, las salidas 6 y 7. En las salidas 1, 2, 3 y 4 la circulación se efectúa por una rampa de pendiente del 5% y de longitud 20, 22, 30 y 35 metros, siendo la circulación hacia las salidas 5, 6 y 7 completamente horizontal con un recorrido de 35 metros.

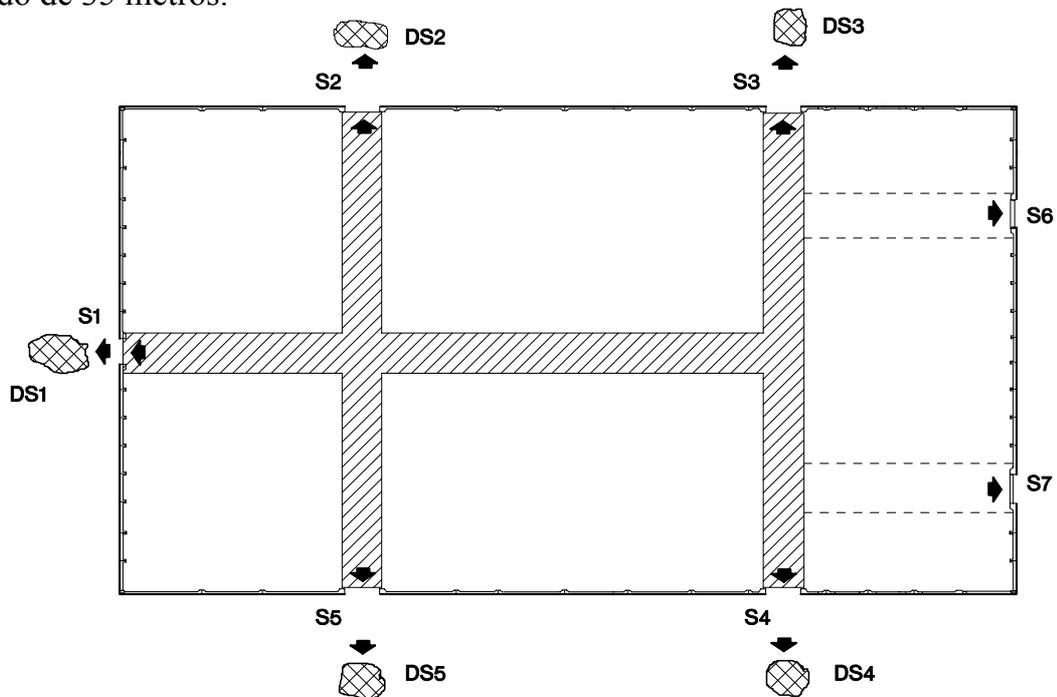


Figura 8.3 Planta de un pabellón

Los **factores ambientales** vienen condicionados por los factores mobiliarios y materiales depositados en el recinto, que dependen de las actividades que temporalmente se desarrollen. Los factores inmobiliarios se consideran irrelevantes, luego será la propia actividad la que dará lugar a las características de la combustión, del humo y del tipo de gases que pudieran desprenderse, resultando la altura del edificio favorable para la expansión de humos y gases derivados de la combustión. Difícilmente se considera que el humo pueda obstaculizar la circulación de las personas hacia las salidas en el tiempo que puede durar el proceso de una evacuación de emergencia.

Los **ocupantes del edificio** pueden ser cualquier tipo de personas por lo que sus dimensiones y características de locomoción deben considerarse las estándar, por ello directamente pueden utilizarse las tablas de J. J. Fruins. La velocidad de circulación hacia las

salidas 1, 2, 3, y 4 se supone de 42 metros por minuto, mientras que hacia la salida 5 la velocidad que se supone es de 55 metros por minuto por tratarse de un tramo completamente horizontal. En el recinto se efectúa un estricto control de accesos, permitiendo conocer en cualquier momento su ocupación. Al ser un recinto de pública concurrencia no puede suponerse que los ocupantes tengan ninguna familiaridad con el recinto. Así mismo, cabe pronosticar que las personas presentes rehúsen el contacto físico en las retenciones, en cuyo caso las densidades de ocupación de las salidas no serán excesivamente elevadas, pudiéndose suponer valores máximos de 3 personas por metro cuadrado.

La previsible actitud o **conducta de los ocupantes** al recibir una señal de alarma será la de esperar ciertas indicaciones que debe proporcionar el personal del recinto. En principio la tendencia de los ocupantes sería de abandonar el edificio por la puerta que han entrado, ello daría lugar a grandes retenciones que deberían corregirse mediante una adecuada distribución hacia otras salidas utilizables y salidas de emergencia. La señalización acústica y óptica de que dispone el edificio debe tener una total credibilidad, por lo que no se prevén demoras en el inicio de la evacuación. El entorno personal en que puede producirse una evacuación no se halla definido, puede ser un entorno familiar o bien de un entorno público, posiblemente en días festivos deba pensarse en un entorno familiar, en otros casos pueda pensarse más en un entorno público, sin embargo no pueden descartarse otros efectos de grupo.

Existen **procedimientos formales** perfectamente desarrollados en el manual de autoprotección del edificio, en dicho plan se planifican las actuaciones del personal responsable de la gestión y de los servicios del establecimiento en situaciones de emergencia. La dificultad radica en la transmisión de las instrucciones a todos los ocupantes en tiempo real, especialmente para abandonar el recinto utilizando la totalidad de salidas disponibles.

8.2.2 Cálculo de la evacuación

Para la solución del problema se pone a disposición de los responsables de la gestión de la seguridad una aplicación para que en cualquier instante de tiempo, en función del número de ocupantes presentes en el recinto puedan conocer los tiempos de evacuación así como la distribución óptima hacia las salidas.

En el desarrollo analítico de la aplicación se observó que a menudo resultaba conveniente efectuar ajustes en el número de personas asignadas a una salida, por ejemplo, si la asignación óptima de una salida eran 234 personas, resultaba interesante evaluar las consecuencias de asignar 250 personas a dicha salida, dando lugar el resultado de estos ajustes a la denominada **asignación operativa**, a partir de la cual se obtienen las desviaciones absolutas y porcentuales respecto el tiempo de evacuación total y el de cada una de las salidas. Realmente, en un edificio de pública concurrencia carece de sentido hablar de asignaciones exactas y se considera muy razonable redondear si se evalúan correctamente las diferencias que suponen dichas aproximaciones.

En el primer caso analizado, se supone que el recinto tiene una ocupación de 2500 personas y tan sólo se utilizan tres salidas de una anchura mínima de paso de 3,0 metros, lo que da lugar a un ancho efectivo de 2,8 metros. Los recorridos de evacuación hasta las

salidas 1, 2 y 3 son respectivamente de 20, 22 y 30 metros. Con estos valores se procede al cálculo de la evacuación resultando los valores de la figura 8.4.

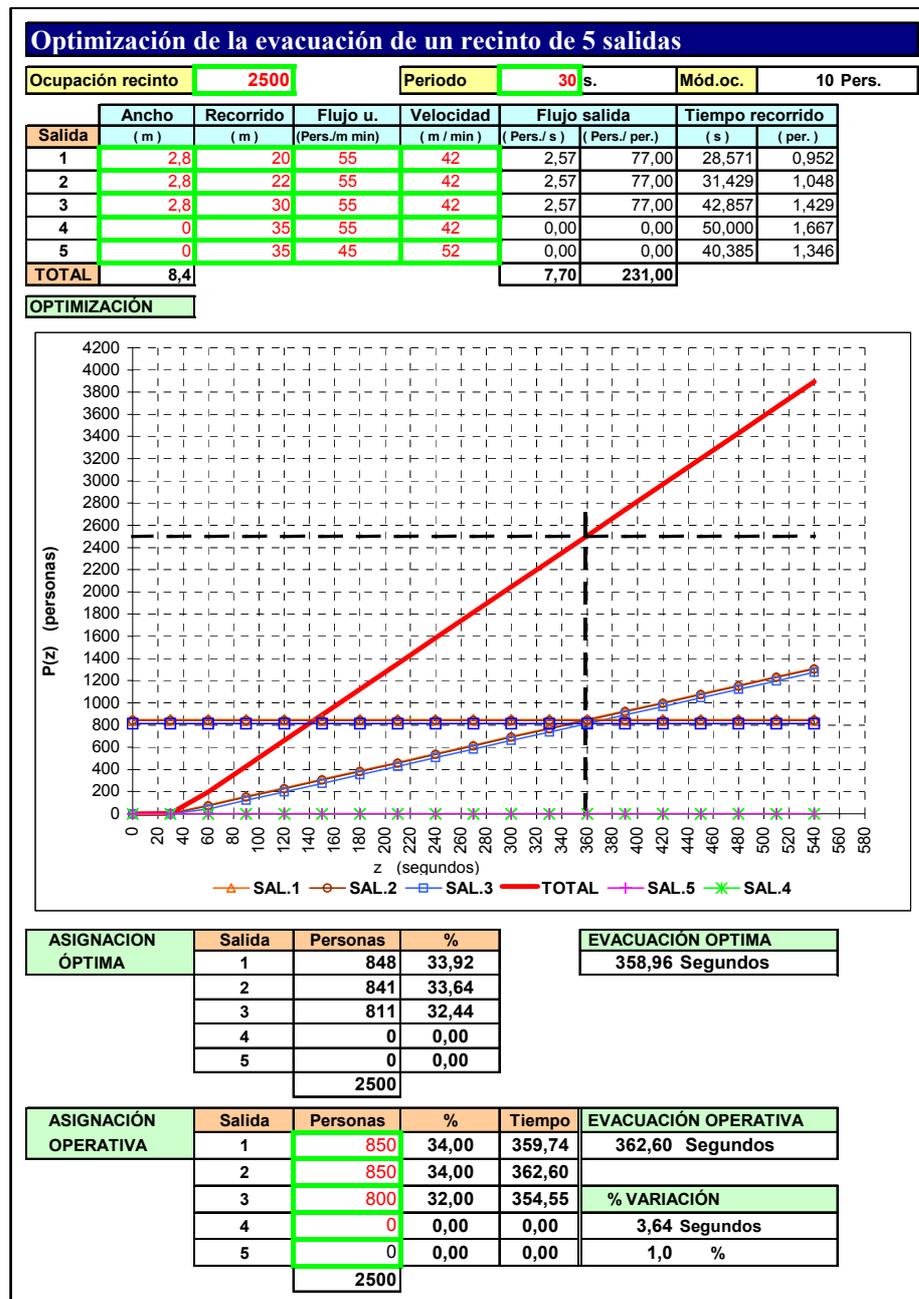


Figura 8.4 Optimización de la evacuación de un recinto de tres salidas

La distribución óptima hacia las salidas 1, 2 y 3 es respectivamente de 848, 841 y 811 personas, suponiendo un tiempo de evacuación de 359 segundos. Aproximadamente unos 6 minutos, un tiempo de evacuación excesivamente alto si se considera que a partir de los 2,5 minutos pueden tener lugar fenómenos de nerviosismo en los ocupantes. Si se redondea el valor de las asignaciones, en caso de una evacuación de emergencia se asignarían aproximadamente 850 personas a las salidas 1 y 2 y 800 personas a la salida 3, resultando razonable esta asignación ya que el recorrido de evacuación de esta tercera salida resulta mayor, ello supone una variación de 3,6 segundos lo que da lugar a un incremento del 1% en el tiempo de evacuación.

La magnitud del tiempo de evacuación exige replantear la situación del recinto, resulta obvia la utilización de cinco salidas, así como el incremento de las anchuras de paso de las salidas 2 y 3. La salida 1 mantiene la anchura efectiva de paso de 2,8 metros y las salidas 2, 3, 4, y 5 una anchura efectiva mínima de 3,6 metros, estos valores dan lugar a los resultados proporcionados por la solución gráfica de la figura 8.5.

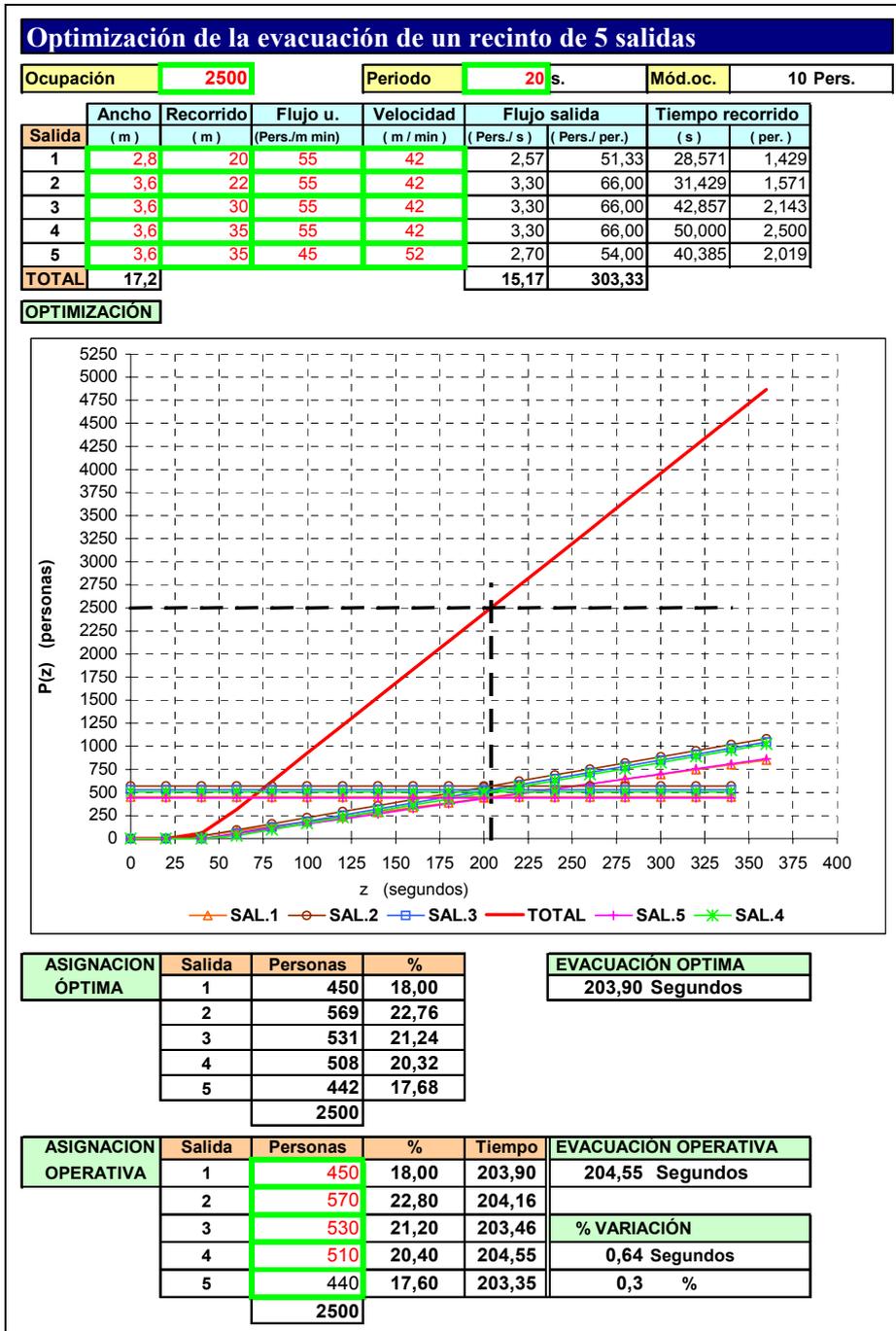


Figura 8.5 Optimización de la evacuación de un recinto de cinco salidas

En este segundo análisis el resultado del tiempo de evacuación obtenido resulta más razonable, sin embargo todavía supera los 3 minutos. En estas circunstancias si la asignación operativa fuera de 450 personas hacia la salida 1, 570 hacia la salida 2, 530 hacia la 3, 510 hacia la 4 y las 440 restantes hacia la salida 5, tan solo produciría un incremento de unos 0,64 segundos en el tiempo de evacuación, es decir, un incremento por-

centual del 0,3 %. Seguramente esta asignación operativa todavía no reúne la adecuada simplicidad, por lo que serían precisos nuevos tanteos.

Cuando la ocupación fuera de 2500 personas la alternativa más razonable consiste en habilitar la totalidad de las posibles salidas, concretamente utilizar las siete salidas de que dispone el recinto, las salidas seis y siete tienen una anchura efectiva de paso de 2,8 m y comportan circulación horizontal. Los resultados analíticos son los que se presentan en la figura 8.6. Se logra un tiempo de evacuación de unos tres minutos, siendo posible una distribución operativa que produce incrementos en el tiempo de evacuación de tan solo el 3,2 %. Si bien es la mejor solución obtenida, todavía deberían buscarse aspectos que aportaran alguna mejora.

Optimización de la evacuación de un recinto de 7 salidas							
Ocupación recinto		2500		Periodo		15 s.	
Salida	Ancho (m)	Recorrido (m)	Flujo u. (Pers./m min)	Velocidad (m/min)	Flujo salida (Pers./s) (Pers./per.)		Tiempo recorrido (s) (per.)
1	2,8	20	55	42	2,57	38,50	28,571 1,905
2	3,6	22	55	42	3,30	49,50	31,429 2,095
3	3,6	30	55	42	3,30	49,50	42,857 2,857
4	3,6	35	55	42	3,30	49,50	50,000 3,333
5	3,6	35	45	52	2,70	40,50	40,385 2,692
6	2,8	35	45	52	2,10	31,50	40,385 2,692
7	2,8	35	45	52	2,10	31,50	40,385 2,692
TOTAL	22,8				19,37	290,50	
OPTIMIZACIÓN							
ASIGNACIÓN ÓPTIMA	Salida	Personas	%	EVACUACIÓN ÓPTIMA			
	1	359	14,36	168,44 Segundos			
	2	452	18,08				
	3	414	16,56				
	4	391	15,64				
	5	346	13,84				
	6	269	10,76				
	7	269	10,76				
		2500					
ASIGNACIÓN OPERATIVA	Salida	Personas	%	Tiempo	EVACUACIÓN OPERATIVA		
	1	360	14,40	168,83	173,72 Segundos		
	2	450	18,00	167,79			
	3	410	16,40	167,10			
	4	400	16,00	171,21			
	5	350	14,00	170,01			
	6	280	11,20	173,72			
	7	250	10,00	159,43			
		2500					
					VARIACIÓN		
					5,28 Segundos		
					3,13 %		

Figura 8.6 Optimización evacuación de un recinto de siete salidas

En este caso no se considera el diseño del punto de reunión, en este tipo de edificios resulta compleja la agrupación de las personas que han abandonado el recinto y no son posibles operaciones de recuento.

Para la gestión de la evacuación además del Jefe de evacuación, sería idónea la existencia de cinco Coordinadores de evacuación por considerarse cinco zonas de influencia, se trata de zonas diáfanas inmediatas a una o a dos salidas, en la figura 8.7 se muestra su posible ubicación con sus respectivas zonas de influencia de forma que detrás del último individuo que se dirige a la salida se pueda garantizar la evacuación de la totalidad de los ocupantes. Otras funciones auxiliares recomendables para esta situación son las funciones de apertura de puertas, dado que el personal que visita al recinto no tiene conocimiento de actuación sobre las mismas, el personal que desempeña las funciones auxiliares una vez haya dotado a las puertas de su máxima capacidad de paso, deben

actuar de forma que los ocupantes no permanezcan junto a las salidas y se dirijan a zonas exteriores, con la finalidad de evitar que no obstaculicen el paso de las personas que permanecen en el interior del recinto y tratan de salir.

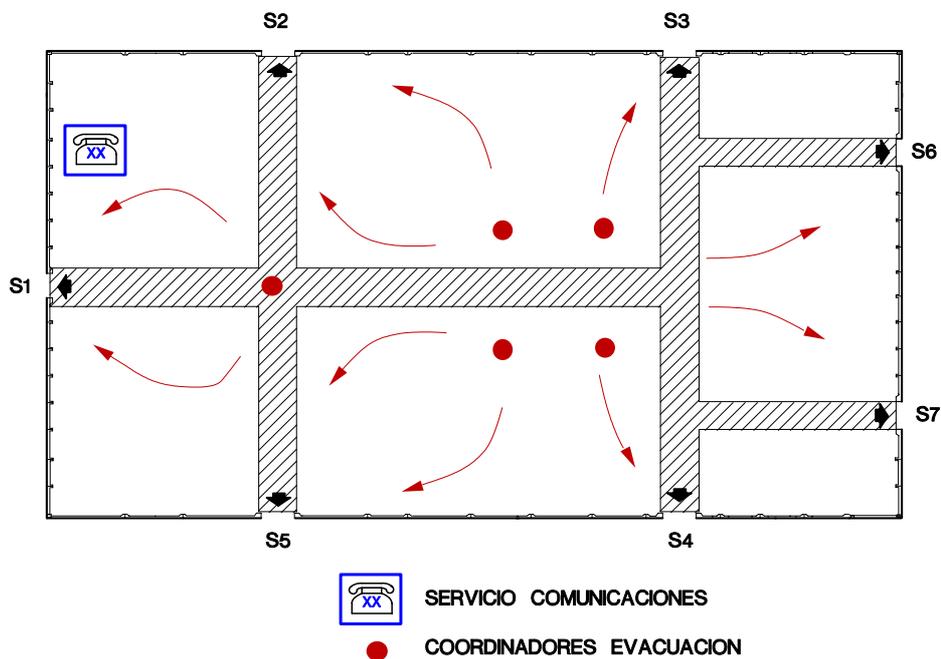


Figura 8.7 Esquema para la gestión de la evacuación

Para validar las magnitudes de locomoción de los ocupantes podrían realizarse ensayos, sin embargo resulta complejo hallar fórmulas que proporcionen la adecuada credibilidad a los mismos. Resulta complejo poder afirmar que las características de locomoción de las personas que participan en el ensayo son similares a las de las personas que asisten al recinto, luego en este caso no se ha realizado ninguna validación de resultados.

A modo de conclusión puede observarse como de forma razonablemente simple es posible obtener estimaciones de los tiempos de evacuación de un recinto de las características del presentado, analizar las distribuciones óptimas hacia las salidas y estudiar otras decisiones que deben ayudar a gestionar evacuaciones de emergencia, mejorando substancialmente la seguridad de los ocupantes.

8.3 ESTUDIO DE LA EVACUACIÓN DE UN EDIFICIO INDUSTRIAL

En este caso se estudia la evacuación de un recinto situado en un edificio de uso industrial. Existen otras zonas de la fábrica con una ocupación reducida de forma que la evacuación de la zona industrial se considera independiente de las otras zonas del edificio. En este caso se va a detallar el proceso de cálculo seguido para la obtención de las soluciones así como el proceso de validación de resultados, contabilizando las salidas en simulacros y analizando aspectos de comportamiento, y de eficacia de la organización propuesta mediante encuestas y formularios a los coordinadores de evacuación.

La superficie total es de unos 7500 metros cuadrados, la forma de la planta como puede observarse en la figura 8.8 puede definirse como la de un rectángulo principal con otros dos rectángulos menores adosados, uno de ellos transversal situado en la parte inferior mientras que el otro se sitúa en posición longitudinal a la derecha. La longitud de la

planta es de 105 metros y una anchura media de 71 metros, la edificación de la fábrica está formada por cuatro volúmenes de forma rectangular, el principal corresponde a la zona de fabricación, una zona de oficinas, una de vestuarios y servicios diversos y otra zona longitudinal al recinto principal destinada a locales y servicios técnicos.

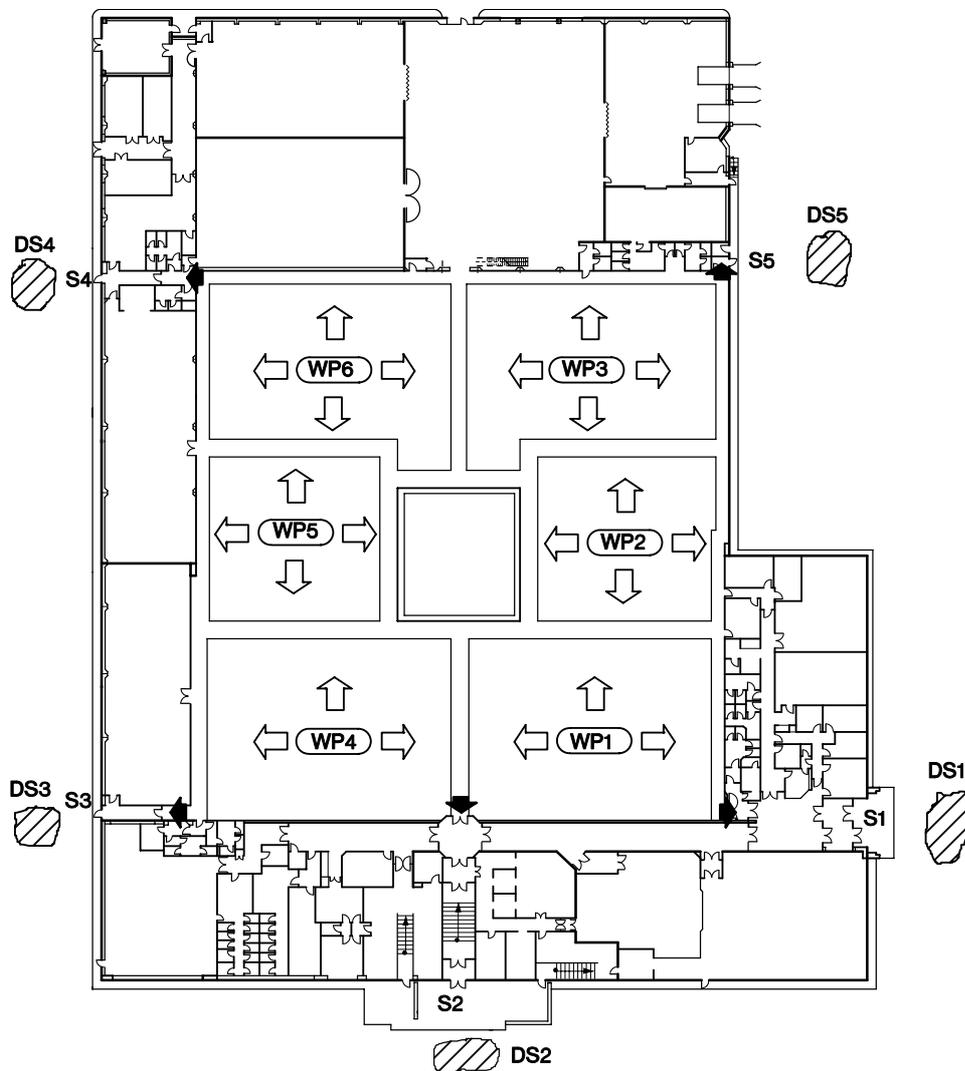


Figura 8.8 Planta para el estudio de la evacuación de un recinto industrial

8.3.1 Análisis de los factores que definen el sistema

El recinto objeto de estudio corresponde a la zona central de la planta en el cual se encuentran las secciones WP1, WP2, WP3, WP4, WP5 y WP6, puede considerarse un recinto aislado del resto del edificio, las salidas se realizan por vestíbulos o pasillos de independencia de tal forma que la zona de fabricación constituye un único sector de incendio, la salida se realiza por puertas resistentes al fuego de características diversas, las puertas de salida del recinto normalmente se hallan abiertas mediante sistemas automáticos que se cierran en caso de alarma. Los recorridos de evacuación hacia las salidas S1, S3, S4 y S5 son horizontales, mientras que la salida hacia S2 se realiza a través de una escalera de un solo tramo en recorrido descendente, dicha escalera dispone de resguardos. Todas las salidas se hallan señalizadas y existe alumbrado de

emergencia. Las zonas de paso se hallan perfectamente definidas, cada una de ellas tiene una superficie a_j . El recinto dispone de 5 salidas con una anchura mínima w_j (m.) y desde el origen de la evacuación hasta una posición exterior segura denominada destino (DS), debe efectuarse un recorrido de l_j metros. Las magnitudes que definen el problema se hallan en la tabla 8.1. La zona de fabricación tiene aproximadamente una superficie de 3800 metros cuadrados.

SAL.	w_j (metros)	l_j (metros)	a_j (m ²)	v_j (m / min)	$f_{e,j}$ (Pers. / m min)
S1	1,2	25,0	79,0	48	65
S2	1,2	30,0	36,5	34	46
S3	0,8	15,0	79,0	48	65
S4	0,8	15,0	63,8	48	65
S5	0,8	5,0	63,8	48	65

Tabla 8.1 Condiciones geométricas recinto y magnitudes de circulación

En cuanto a las **características de los ocupantes** del recinto, se consideran personas adultas en condiciones de movilidad normal, capaces de reaccionar de forma inmediata al producirse la señal de alarma para la evacuación y dirigirse a la salida que les corresponde para una evacuación óptima según un plan de formación seguido por la totalidad de los ocupantes. La ocupación habitual es de 540 personas repartidas en 6 áreas de trabajo, la distribución puede observarse en la tabla 8.2.

WP1	WP2	WP3	WP4	WP5	WP6	TOTAL
108	76	82	104	78	92	540

Tabla 8.2 Ocupación recinto

La distribución de los ocupantes en el recinto se supone uniforme. También se supone que no se producen demoras al inicio de la evacuación cuando se produce la señal de alarma, la totalidad de ocupantes se dirige hacia los pasillos de circulación que conducen a las salidas, razonablemente los pasillos centrales serán menos utilizados, la superficie utilizada se estima en unos 402 m², con lo que la densidad de ocupación que determina las magnitudes de circulación vendrá dada por

$$d = \frac{k}{\sum_{j=1}^r a_j} = \frac{540}{402} = 1,34 \text{ (Pers./m}^2\text{)}$$

Mediante las tablas de Fruins del anexo 1, a partir de la densidad obtenida se estiman las velocidades de circulación v_j y los flujos f_j , obteniéndose los valores mostrados en la tabla 8.2, estas magnitudes se suponen constantes durante todo el tiempo que dura la evacuación.

8.3.2 Solución del problema

La solución del problema se obtiene gráficamente tal como puede observarse en la figura 8.9. El proceso seguido es el descrito a continuación:

1. Se ha determinado para cada salida j la función de evacuación $t_j(x_j)$ para ello se ha calculado previamente el tiempo de recorrido mediante la expresión (3.9), así como el flujo registrado en cada salida mediante (3.10):

$$t_{1,1} = \left(\frac{25}{48}\right) \times 60 = 31,25 \quad t_{1,2} = \left(\frac{30}{34}\right) \times 60 = 52,94 \quad t_{1,3} = \left(\frac{15}{48}\right) \times 60 = 18,75$$

$$t_{1,4} = \left(\frac{15}{48}\right) \times 60 = 18,75 \quad t_{1,5} = \left(\frac{5}{48}\right) \times 60 = 6,25$$

$$f_1 = \frac{65 \times 1,2}{60} = 1,30 \quad f_2 = \frac{46 \times 1,2}{60} = 0,92 \quad f_3 = f_4 = f_5 = \frac{65 \times 0,8}{60} = 0,87$$

$$t_1(x_1) = 31,25 + \frac{x_1}{1,30} \quad t_2(x_2) = 52,94 + \frac{x_2}{0,92} \quad t_3(x_3) = 18,75 + \frac{x_3}{0,87}$$

$$t_4(x_4) = 18,75 + \frac{x_4}{0,87} \quad t_5(x_5) = 6,25 + \frac{x_5}{0,87}$$

2. Se ha procedido a la representación gráfica de las funciones de evacuación inversa $p_j(z_j)$ de cada salida, situando el tiempo en el eje de abscisas y el número de personas en el eje de ordenadas.
3. La función de evacuación total del recinto $P_T(z)$ se obtiene sumando de las funciones de evacuación inversa, considerando las discontinuidades.
4. Situando en el eje de ordenadas el valor del número total de ocupantes del recinto, en este caso 540 personas, se traza una línea paralela al eje de abscisas hasta el punto de intersección con la función $P_T(z)$.
5. Desde este punto de intersección, se traza una línea vertical que corta al eje de abscisas en el valor de 138 segundos. Este es pues el tiempo mínimo z^* requerido para evacuar los 540 ocupantes del recinto.

$$z^* = 138 \text{ s.}$$

6. A partir de las intersecciones de la línea vertical con las respectivas funciones $p_j(z_j)$ se han trazado líneas horizontales hasta cortar al eje de ordenadas. En los puntos de intersección con dicho eje se efectúa la lectura de la asignación correspondiente a cada una de las salidas:

$$x_1 = 139 \quad x_2 = 79 \quad x_3 = 104 \quad x_4 = 104 \quad x_5 = 114$$

7. Se verifica que se ha producido la evacuación de la totalidad de los ocupantes del recinto:

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 = 139 + 79 + 104 + 104 + 114 = 540 \text{ Personas}$$

8. A partir de la asignación óptima se han analizado las densidades de ocupación que resultan en cada salida:

$$d_1 = \frac{139}{79} = 1,76 \quad d_2 = \frac{79}{36,5} = 2,16 \quad d_3 = \frac{104}{79} = 1,32$$

$$d_4 = \frac{104}{63,8} = 1,63 \quad d_5 = \frac{114}{63,8} = 1,79$$

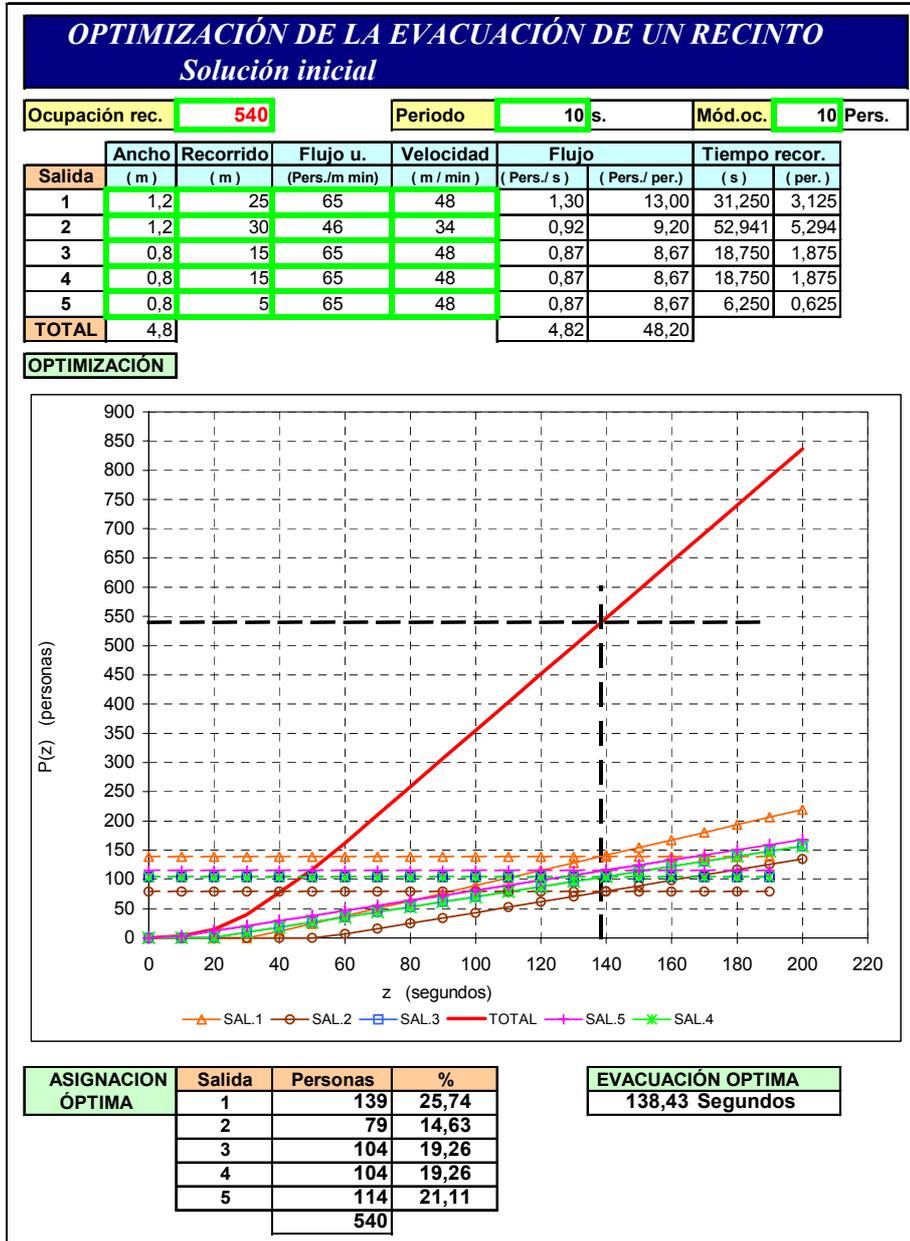


Figura 8.9 Optimización de la evacuación recinto industrial solución inicial

Estos resultados muestran que la densidad de ocupación que se produciría en las salidas, manteniendo la condición que todos los ocupantes se incorporan de forma inmediata a las vías de evacuación, es ligeramente mayor al supuesto inicialmente. Por ello resulta necesario efectuar el correspondiente ajuste y la posterior repetición del proceso de cálculo. Los nuevos valores de la velocidad de circulación y el flujo específico se muestran en la tabla 8.2.

SALIDA	d_j (Pers. / m ²)	v_j (m / min)	f_{ej} (Pers. / m min)
1	1,76	42	74
2	2,16	30	65
3	1,32	54	71
4	1,63	47	77
5	1,79	41	74

Tabla 8.2 Flujos corregidos

Resolviendo con estos nuevos valores del flujo, se obtiene un tiempo de evacuación de 124 segundos y una distribución muy similar a la obtenida en la primera iteración, tal y como puede analizarse en la figura 8.10.

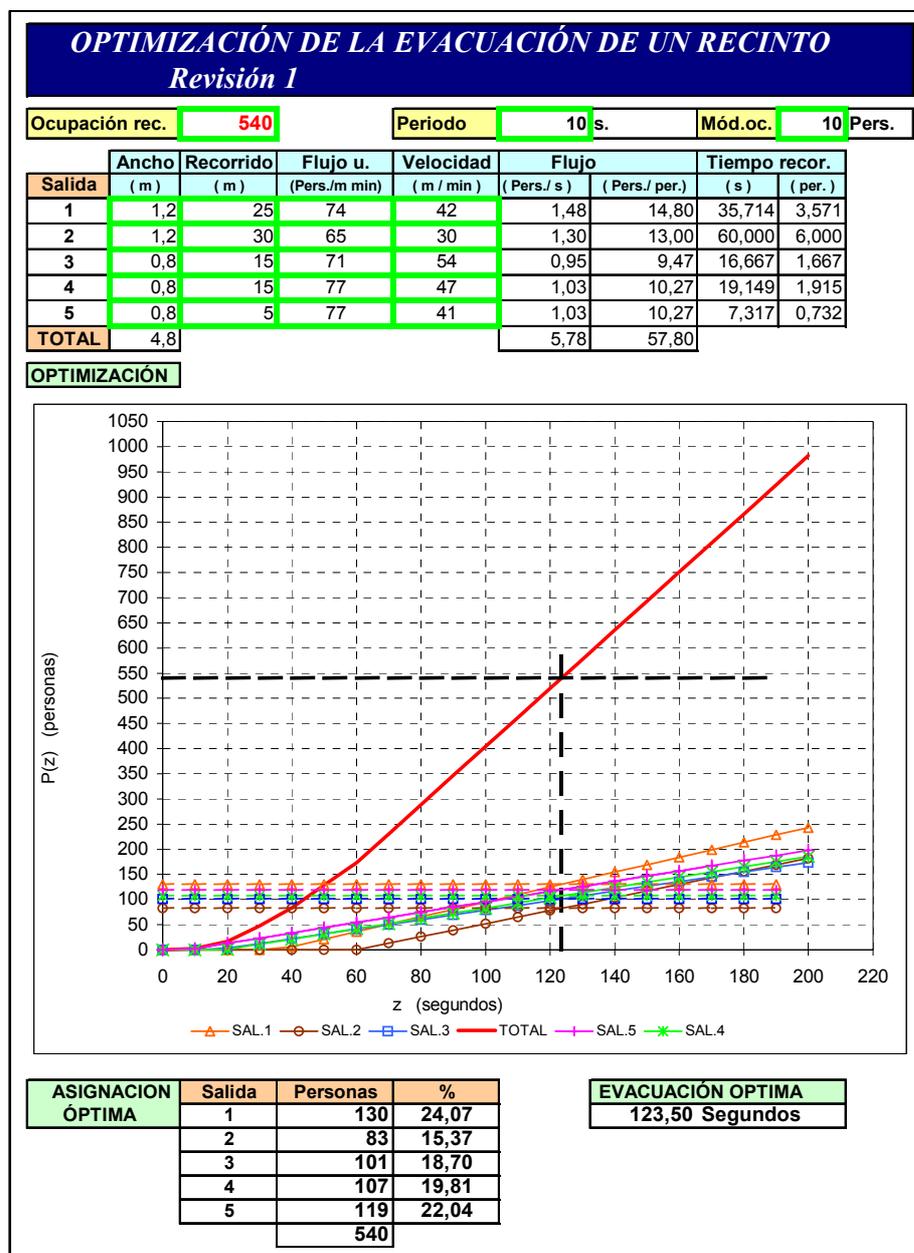


Figura 8.10 Cálculos definitivos

La distribución hacia las salidas resultante es la siguiente:

$$x_1 = 130 \quad x_2 = 83 \quad x_3 = 101 \quad x_4 = 107 \quad x_5 = 119$$

Sería posible plantear la asignación operativa aunque en este tipo de casos tiene poco sentido, los ocupantes de un recinto son los que son y puede resultar más complejo efectuar agrupaciones arbitrarias.

ASIGNACION OPERATIVA	Salida	Personas	%	Tiempo	EVACUACION OPERATIVA
	1	130	24,07	123,55	126,29 Segundos
	2	85	15,74	125,38	
	3	100	18,52	122,30	% VARIACION
	4	110	20,37	126,29	2,80 Segundos
	5	115	21,30	119,33	2,3 %
		540			

Figura 8.11 Tabla de la asignación operativa

En este ejemplo se ha presentado una resolución gráfica, con el fin de no extender el proceso de cálculo se considera aceptable la solución obtenida y no se efectúan más iteraciones. Incluso en el caso de soluciones perfectamente ajustadas debe admitirse la incertidumbre que existe en las magnitudes que definen el movimiento de las personas, y son el punto de partida del problema.

Para la gestión de una evacuación de emergencia del edificio, según se ha analizado en el capítulo 7 se aconseja la existencia de 7 coordinadores de evacuación, cinco de los cuales estarían en la zona del recinto de fabricación que ha sido directamente objeto de estudio.

8.3.4 Validación de resultados

Se ha realizado un simulacro de evacuación, se han realizado mediciones para validar magnitudes de locomoción y se ha distribuido una encuesta para analizar aspectos de comportamiento. La encuesta ha sido contestada por todo el personal de la fábrica que ha participado en el simulacro, es decir el del recinto objeto del cálculo de la evacuación y el de otras dependencias.

Para verificar si las magnitudes de locomoción utilizadas en el cálculo de la evacuación se ajustan a los que realmente se registran para los ocupantes del recinto se han controlado las salidas que se han producido en las salidas S1, S2 y S4, en ellas se han contabilizado los instantes en que han empezado a abandonar el recinto, el final de la evacuación y el número de personas que habían abandonado el recinto por la salida respectiva en intervalos de 30 segundos, o sea a los 30, 60, 90, 120, 150 y 180 segundos. No ha sido posible efectuar mediciones en la totalidad de las salidas.

Tiempo (segundos)	Salida 1 (Pers.)	Tiempo (segundos)	Salida2 (Pers.)	Tiempo (segundos)	Salida 4 (Pers.)
33	1	71	1	35	1
60	48	60	35	60	36
90	68	90	74	90	82
120	129	131	80	120	110
128	135			131	114

Tabla 8.3 Resultados del proceso de verificación

En la figura 8.12 puede observarse como los tiempos de evacuación medidos coinciden razonablemente con la función de evacuación de esta salida $p_1(z)$, luego no existe otra posibilidad que concluir que las magnitudes de locomoción consideradas son correctas. Las discrepancias que se aprecian pueden considerarse absolutamente normales, existiendo además una coincidencia en el tiempo total de evacuación calculado para dicha salida.

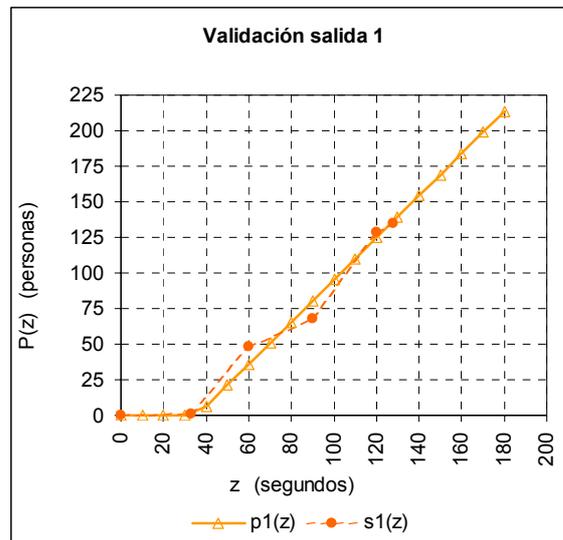


Figura 8.12 Análisis de la función de evacuación de la salida 1

En el análisis de la salida 2, representado en la figura 8.13, se aprecia una ligera discrepancia entre las funciones $p_2(z)$ y $s_2(z)$. Es posible que exista alguna diferencia entre el valor de las magnitudes de locomoción que se registran y las supuestas. Analizando las características de la vía de evacuación es posible que la diferencia pueda atribuirse a la circulación por la escalera que conduce al destino DS2. Se ha revisado el proceso de cálculo suponiendo una velocidad de circulación inferior, lo que da lugar a una asignación óptima en la cual 11 ocupantes deben utilizar otras salidas. Por ello se concluye que la diferencia resultante de efectuar dichos ajustes es poco relevante.

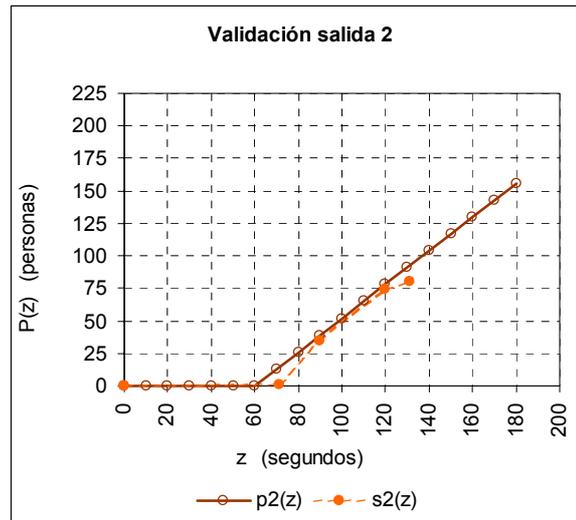


Figura 8.13 Análisis de la función de evacuación de la salida 2

En la salida 4, representada en la figura 8.14, también se registra una ligera diferencia, especialmente significativa en el momento de inicio de la evacuación, que posiblemente pueda atribuirse al hecho que para abandonar el recinto deben abrirse tres puertas que disponen de barra antipánico, o bien a las características personales o de comportamiento de las personas que han utilizado la salida.

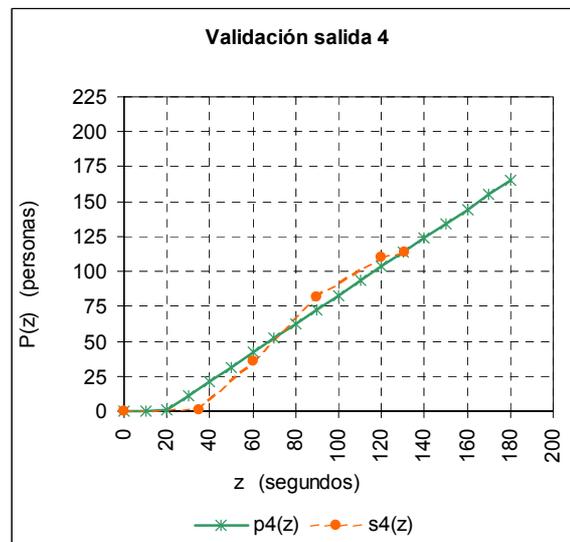


Figura 8.14 Análisis de la función de evacuación de la salida 4

Por otro lado, los ocupantes que han participado en el simulacro de evacuación se han sometido a una encuesta que se reproduce en el anexo 2. En cuanto a la población encuestada el 62 % de las personas son mujeres, de las cuales el 45% tienen una edad comprendida entre 20 y 29 años y el 34 % de 30 a 39 años. Ningún individuo presenta algún tipo de discapacidad. El 97% de los ocupantes tiene más de un año de antigüedad en la fábrica y el 83% había participado en otros simulacros de emergencia. En el momento de producirse la señal de alarma el 84% de los trabajadores ocupaban su puesto de trabajo. Los siguientes párrafos analizan las conclusiones extraídas de la encuesta.

La organización de la evacuación de emergencia y la formación realizada ha resultado razonablemente eficaz, el 93% de los ocupantes ha seguido la ruta de evacuación que tenía asignada. No se han producido demoras en el inicio de la evacuación dado que el 100% de los ocupantes ha oído la señal de alarma, el 90 % considera adecuada la intensidad de la señal de alarma y el 66 % ha identificado que se trataba de un simulacro de evacuación, tan solo el 17 % ha pensado que se trataba de un incendio u otra emergencia real y el 73% de las personas encuestadas afirma que ha salido de la fábrica rápidamente.

Las velocidades de desplazamiento pueden ser consideradas normales dado que el 83% de los ocupantes considera que los desplazamientos han sido rápidos, en todos los casos la circulación ha sido en un solo sentido y no ha sido preciso ayudar a ninguna persona a abandonar la fábrica. El 90% afirma que ha seguido andando rápido al salir de la fábrica. Las retenciones que se han producido han sido moderadas y coinciden en cuanto a ubicación y magnitud con las previstas, justamente en las salidas.

Los aspectos organizativos durante el desarrollo de la evacuación presentan resultados más mediocres, tan solo el 66% de los ocupantes ha identificado el Coordinador de evacuación de su zona, que teóricamente debía dirigir la evacuación del recinto y efectuar el recuento en el punto de reunión, en el cual el 62% afirma que le ha sido fácil situarse y el 83 % cree que se ha efectuado correctamente el recuento.

También se utilizan los informes de los Coordinadores de evacuación para analizar la actuación de los ocupantes, en este sentido conviene observar que los Coordinadores tratan de ofrecer una perspectiva global mientras que en las encuestas las personas encuestadas tratan de expresar sus experiencias, el modelo de informe utilizado en este caso corresponde con el mostrado en el anexo 2. Se extraen las siguientes conclusiones:

Consideran que mayoritariamente se ha identificado la señal de alarma, sin embargo la reacción a la señal de alarma no ha sido inmediata, en general han preguntado a compañeros sobre lo que estaba sucediendo y se producían ciertas conversaciones, la mayoría han advertido que se trataba de un simulacro. No se han observado demoras para recoger objetos personales, el comportamiento en varias zonas ha sido dispar, en unos casos la evacuación ha sido rápida y en otros se han formado grupos. Los coordinadores consideran que ocupantes de la zona de su responsabilidad se han dirigido a la salida asignada, en varios casos han debido indicar la salida a utilizar, pero mayoritariamente se dirigían a la salida adecuada sin ningún tipo de indicación. Globalmente los desplazamientos han sido rápidos, pero algunas personas han tenido excesiva tranquilidad, en las vías de evacuación no se han observado obstáculos, de tal forma que se estima que las anchuras de paso teóricas coinciden con las reales en el momento del simulacro y en determinadas salidas se han producido ligeras retenciones. Los desplazamientos en el exterior hacia el punto de reunión se han ralentizado ligeramente, se califican simplemente como correctos. En el punto de reunión ha sido posible efectuar recuento y mayoritariamente han colaborado de forma activa.

Como conclusión cabe resaltar, que se ha mostrado un procedimiento gráfico que permite de una forma sencilla, analizar cuantitativamente la evacuación de un edificio, ob-

teniendo estimaciones del tiempo de evacuación así como la distribución de los ocupantes del mismo para un tiempo mínimo de evacuación. Deben destacarse las posibilidades del procedimiento utilizado para estudiar el efecto de cambios en la ocupación o bien en la geometría del edificio al igual que introducir factores de comportamiento.

8.4 ESTUDIO DE LA EVACUACIÓN DE UN EDIFICIO ESCOLAR

Se trata estudiar la evacuación de un edificio de tres plantas en el que se desarrollan actividades educativas. En primer lugar se realiza un análisis detallado de la ocupación, cuyos valores pueden observarse en la tabla 8.4. En las columnas señaladas con “*” se indicaría el número de personas que presentan algún tipo de discapacidad.

DEPENDENCIA	Intervalos horarios											
	8.00-8.50		8.50-9.40		9.40-10.30		11.00-11.50		11.50-12.40		12.40-13.30	
PLANTA 0	*		*		*		*		*		*	
Aula Informática	40		40						40		40	
Cafetería/ Bar	80											
Biblioteca	40		40		40		40		40		40	
Gimnasio	40		40		40		40		40		40	
Departamentos	35		35		35		35		35		35	
Secretaria	8		8		8		8		8			
Despachos	10		10		10		10		10		10	
Sala profesores	10		10		10		10		10		10	
Total planta 0	263		183		143		143		183		175	
PLANTA 1												
Aula 111	40		40		40		40		40		40	
Aula 112	40		40		40		40		40		40	
Aula 113	40		40		40		40		40		40	
Aula 114	40		40		40		40		40		40	
Aula 115	40		40		40		40		40		40	
Lab. ciencias					40		40					
Dep. Cienc.	15		15		15		15		15		15	
Total planta 1	215		215		255		255		215		215	
PLANTA 2												
Aula 121	40		40		40		40		40		40	
Aula 122	40		40		40		40		40		40	
Aula 123	40		40		40		40		40		40	
Aula 124	40		40		40		40		40		40	
Aula 125	40		40		40		40		40		40	
Aula Admva. 1	40		40		40		40		40		40	
Aula Admva. 2	20		20		20		20		20		20	
Dep Admvo	10		10		10		10		10		10	
Dep AO	5		5		5		5		5		5	
Total planta 2	275		275		275		275		275		275	
TOTAL EDIF.												

Tabla 8.4 Ocupación edificio escolar

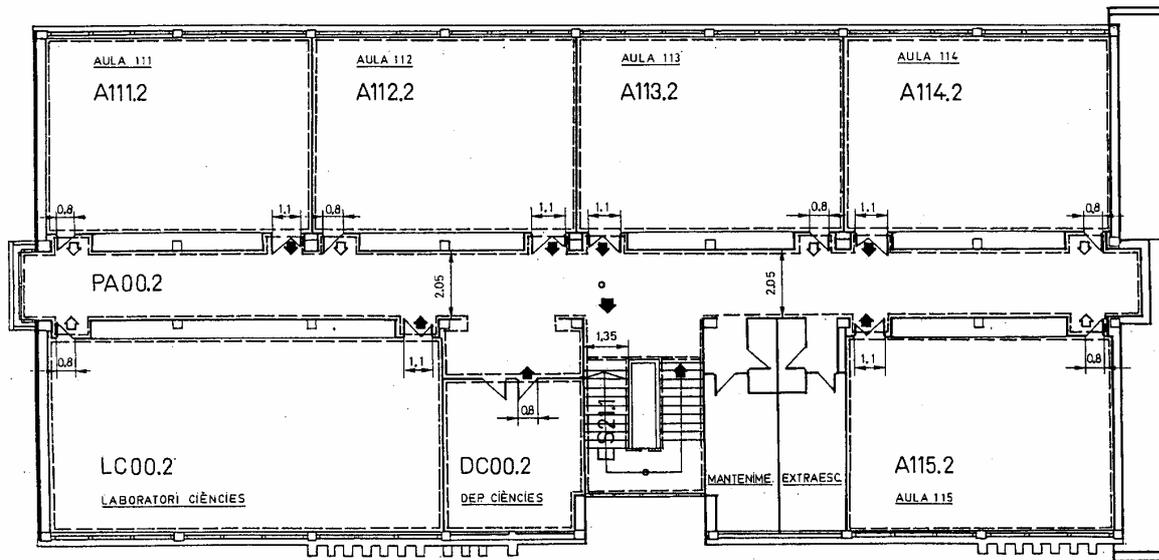


Figura 8.16 Edificio escolar planta 2

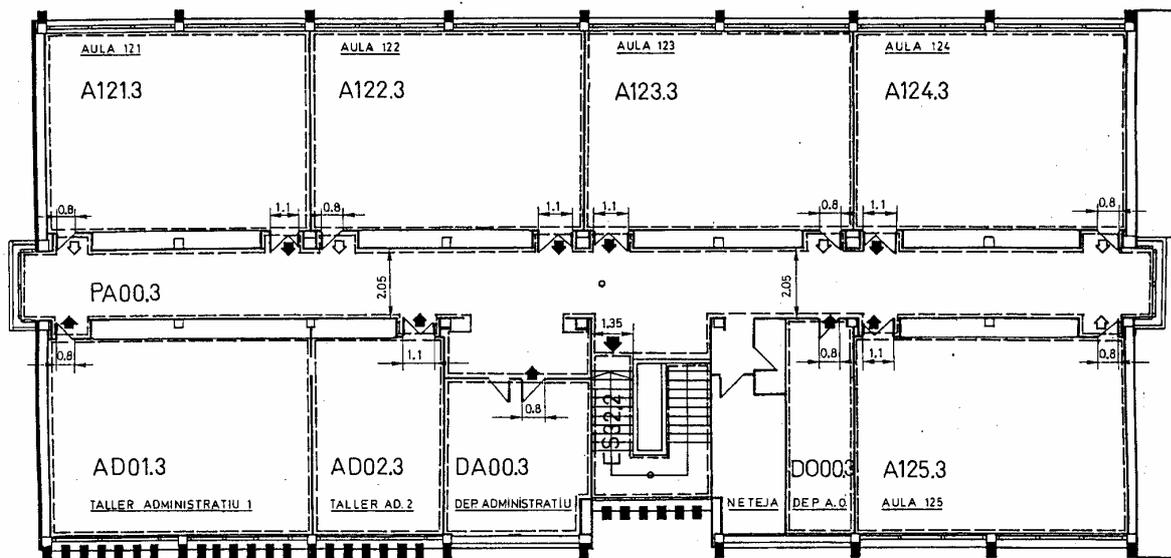


Figura 8.17 Edificio escolar planta 3

8.4.1 Análisis de los factores que caracterizan el sistema de evacuación

Se trata del estudio de la evacuación de un edificio de tres plantas cuya altura de evacuación es de 10 metros, la planta baja tiene una superficie de 1160 m² y la primera y segunda planta 690 metros cuadrados cada una de ellas. Las plantas tienen forma rectangular, existe un pasillo longitudinal en el centro de las mismas, a ambos lados de forma totalmente geométrica se sitúan las dependencias constituyendo dicho pasillo una única vía de evacuación que conduce a una escalera situada en el centro del pasillo.

La evacuación entre plantas se realiza por la escalera que está formada por dos tramos rectos y una meseta, la escalera tiene una anchura mínima de paso de 2,05 metros y so-

lamente dispone de resguardos en la cara interior, los escalones se consideran de medida estándar, y la rugosidad tanto de las paredes interiores como exteriores hace que se deba considerar de forma estricta el concepto de ancho efectivo. La escalera comunica directamente las tres plantas sin ningún tipo de cierre ni compartimentación, y desemboca en un hall de salida de la planta baja desde el cual se accede al exterior. Por efecto de tiro, los humos de la planta baja fácilmente pueden llegar a la segunda planta.

Las salidas de cada una de las plantas y del edificio desde la planta baja están señalizadas, por lo que no resulta previsible ralentización alguna en los desplazamientos debido a esta causa. El estudio se realiza en condiciones de alumbrado normal, aunque sería conveniente verificar las condiciones de alumbrado de la vía de evacuación y ajustar las magnitudes de locomoción a dichas circunstancias.

Los **factores ambientales** son poco relevantes, se trata de un edificio de utilización docente, no existiendo materiales ni procesos que aporten condiciones especiales de riesgo. Los recintos destinados a laboratorios no contienen cantidades de materiales especialmente peligrosos. Lo más significativo son los locales técnicos de la planta baja que se hallan debidamente compartimentados en recintos resistentes al fuego, por lo cual aunque la escalera no sea un recinto aislado en cuanto a este apartado se refiere, no se consideran cambios ni correcciones respecto las magnitudes de locomoción debidas a la existencia de humo, gases tóxicos, calor o fenómenos radiantes.

La ocupación total prevista es de 793 personas, en principio no se contempla la existencia de ocupantes que presenten alguna discapacidad, en caso de presentarse dicha circunstancia el problema sería considerable dada la existencia de una única vía de circulación y que además se trata de una escalera. Al ser un edificio de enseñanza media la edad de los ocupantes está comprendida entre los 12 y los 20 años, por ello se considera el estándar de personas adultas. Las magnitudes de ocupación y las de locomoción se obtienen a partir de las tablas de Fruins. A priori se pronostican circulaciones densas con un nivel de servicio E, se considera una velocidad de circulación en los pasillos de 45 metros por minuto y en las escaleras de 30 metros por minuto. En cuanto a las retenciones, dado que la mayor parte de los ocupantes son personas jóvenes, se consideran admisibles densidades de ocupación tipificadas en el modelo de Fruins como nivel D. Debe considerarse que en una evacuación de emergencia real las velocidades de evacuación posiblemente fueran ligeramente mayores, pero en simulacros de evacuación las velocidades que realmente se producen son inferiores.

Respecto **la conducta**, se considera que se trata de un edificio ocupado siempre por las mismas personas, por ello no puede formularse otra hipótesis que la de un buen conocimiento del edificio. La estructura social de un grupo de personas en un recinto escolar formado por alumnos con sus respectivos profesores hace que en el momento de producirse una señal de alarma la tendencia sea abandonar la dependencia que se ocupa para dirigirse al punto de reunión, la dificultad puede estar en que los profesores o personas responsables de cada grupo no pudieran mantener la calma para realizar una evacuación perfectamente ordenada. En los centros escolares periódicamente se realizan simulacros de evacuación, además no se prevén demoras al recibir la señal de alarma, esperándose que la totalidad de los ocupantes se dirijan a las vías de evacuación. Debe destacarse que los centros escolares disponen de un “plan de emergencia” que establece las directrices básicas de actuación y se ha realizado una labor formativa que detalla actuaciones básicas en evacuaciones de emergencia y la ubicación del punto de reunión.

8.4.2 Solución del problema

Para la solución del problema se va a utilizar la aplicación EXITE con algunas particularidades, la primera de ellas va a consistir en modelar las incorporaciones a la red de los ocupantes de las plantas 2 y 3. No tiene demasiado sentido considerar cada una de las dependencias de la planta como un solo nodo y los consiguientes arcos que comunican dicha dependencia con el pasillo que da acceso a la escalera. Lo que se realiza consiste en modelar la incorporación de cada una de las aulas al pasillo central de cada una de las alas de la planta, y desde el mismo al vestíbulo que comunica cada una de las plantas con la escalera. Operar de esta forma simplifica sustancialmente el problema y a su vez permite realizar un análisis más preciso de las incorporaciones. Se aplican los principios establecidos en el apartado 3.8 en el que se describe el modelado de incorporaciones a una salida. En la figura 8.18 puede observarse la red estática que resulta del modelado de las incorporaciones así como de la agrupación de dependencias contiguas en la planta baja.

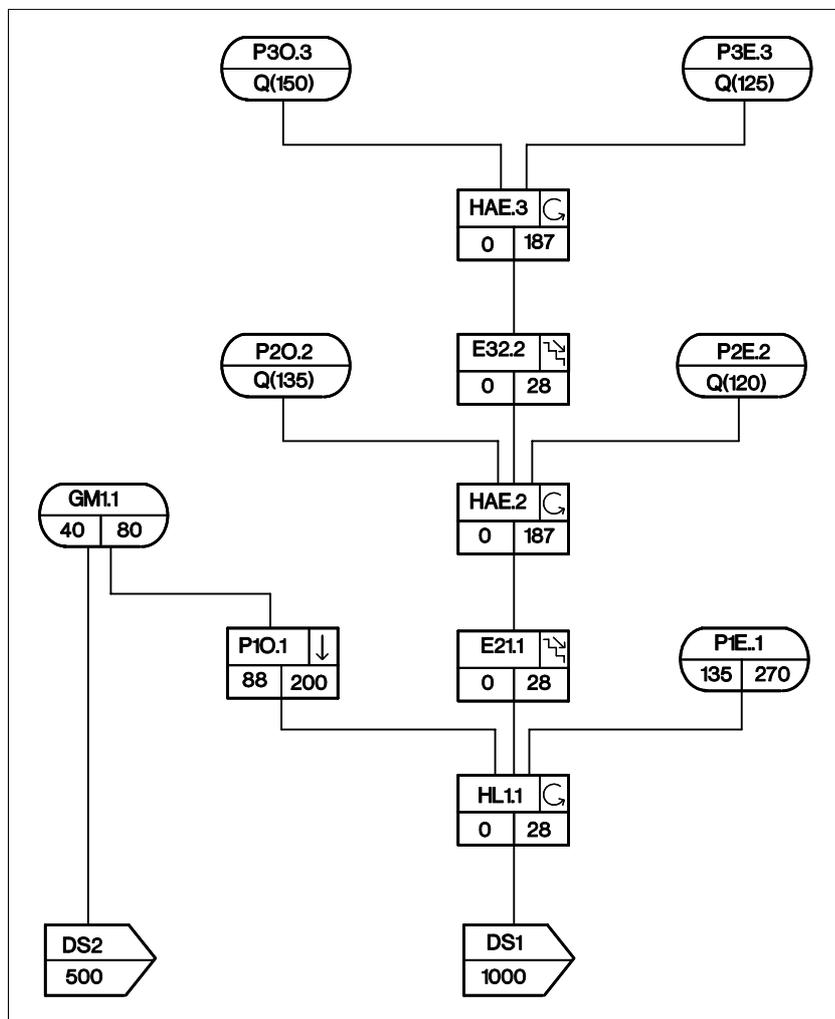
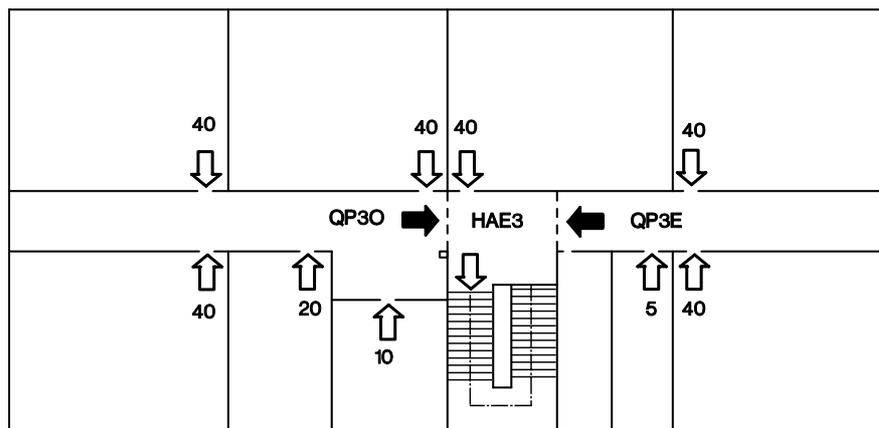


Figura 8.18 Red estática de flujo edificio escolar

Para exponer el modelado de las incorporaciones a la red se utiliza la representación de la figura 8.19. En la tercera planta puede observarse como los ocupantes de cada una de las aulas acceden al pasillo central de la misma y las dos alas confluyen en el hall que da acceso a la escalera, el acceso de las aulas al pasillo resulta evidente que no condi-

ciona en absoluto el proceso de evacuación. El acceso al pasillo supone que se desarrolla por una anchura total de unos 9 metros mientras que la salida hacia la escalera se realiza por una anchura de 2,05 metros, entonces necesariamente los pasillos de planta van a ser unos puntos de gran ocupación que pueden razonablemente considerarse como puntos origen de evacuación. Si existiera alguna duda sobre el desarrollo de este proceso debería modelarse la circulación desde las aulas hasta el pasillo considerando el hall destino de evacuación y el perfil de evacuación del hall se correspondería con la función de incorporaciones a la red.

TERCERA PLANTA



SEGUNDA PLANTA

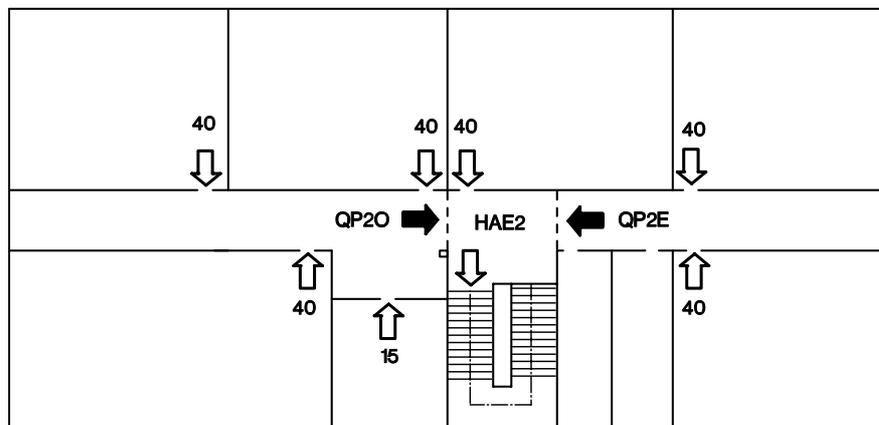


Figura 8.19 Modelado de las incorporaciones a la red

Las funciones que se obtienen son las siguientes:

$$QP3O(I) = (0, 23, 26, 46, 27, 26, 2, 0)$$

$$QP3E(I) = (0, 18, 39, 39, 27, 2, 0, 0)$$

$$QP2O(I) = (0, 26, 28, 39, 27, 14, 1, 0, 0)$$

$$QP2E(I) = (0, 13, 13, 39, 27, 26, 2, 0)$$

Definidas estas funciones, el proceso sigue entrando los datos de los nodos en la aplicación EXITE, resulta la tabla de la figura 8.20. En ella se han introducido los valores correspondientes a las ocupaciones, superficies útiles de cada dependencia y las máximas densidades de ocupación posibles considerando las características personales de los ocupantes. No se considera que existan demoras en el inicio de la evacuación.

Los datos se han organizado en recintos origen, vía 1, vía 2 y destinos de evacuación. Debe observarse la particularidad que la segunda vía de evacuación no consta de ninguna dependencia dado que conduce directamente al destino DS2.

EXITE3 VALOR NODOS CASO E1							
Periodo	10 seg.						
RECINTOS	P30.3	P3E.3	P20.3	P2E.3	P10.3	P1E.3	GM1.1
Ocup. inicial (Pers.)	150	125	135	120	88	135	40
Superficie u. (m ²)	46,5	46,5	46,5	46,5	70	29	62,5
Max.dens.oc. (Pers./m ²)	2	2	2	2	2	2	2
Capacidad (Pers.)	93	93	93	93	140	58	125
Demora (Periodos)	0	0	0	0	0	0	0
VIA 1	HAE.3	ES32.2	HAE.2	E21.1	HL1.1	TOTAL	
Ocup. inicial (Pers.)	0	0	0	0	0	0	
Superficie u. (m ²)	20	14	20	14	34	102	
Max.dens.oc. (Pers./m ²)	4,35	2	4,35	2	3		
Capacidad (Pers.)	87	28	87	28	102	332	
Demora (Periodos)	0	0	0	0	0	0	
VIA 2							
Ocup. inicial (Pers.)							
Superficie u. (m ²)							
Max.dens.oc. (Pers./m ²)							
Capacidad (Pers.)							
DESTINOS	DS1	DS2	TOTAL				
Ocup. inicial (Pers.)	0	0	0				
Superficie u. (m ²)	400	200	600				
Max.dens.oc. (Pers./m ²)	2,5	2,5					
Capacidad (Pers.)	1000	500	1500				

Figura 8.20 Modelado de la red: Entrada de datos de los nodos

De forma similar al trabajo realizado para los nodos, el proceso sigue introduciendo los valores característicos de los arcos, en ellos las magnitudes características son las anchuras efectivas de paso, la longitud de los recorridos, las velocidades y los flujos específicos de circulación. Los resultados son flujos expresados en personas por periodo y tiempos de circulación también expresados en periodos. Los datos correspondientes a las vías de evacuación se hallan estructurados en plantas, vía 1 y vía 2. Pueden observarse en la tabla de la figura 8.21

EXITE3 VALOR ARCOS			CASO E1			
PLANTA 3	origen destino	P3O.3 HAE.3	P3E.3 HAE.3			
Ancho efectivo mínimo (m)		2,05	2,05			
Recorrido (m)		12,00	12,00			
Velocidad (m / min)		73,15	73,15			
Flujo espec. (Pers./ m min)		41,01	41,01			
Flujo (Pers./ periodo)		14,00	14,00			
Circulación (Periodos)		1,00	1,00			
PLANTA 2	origen destino	P2O.2 HAE.3	P2E.2 HAE.3			
Ancho efectivo mínimo (m)		2,05	2,05			
Recorrido (m)		12,00	12,00			
Velocidad (m / min)		73,15	73,15			
Flujo espec. (Pers./ m min)		41,01	41,01			
Flujo (Pers./ periodo)		14,00	14,00			
Circulación (Periodos)		1,00	1,00			
PLANTA 1	origen destino	GM1.1 DS2	P1O.2 HAE.3	P1E.2 HAE.3		
Ancho efectivo mínimo (m)		1,40	2,05	2,05		
Recorrido (m)		14,00	12,00	15,00		
Velocidad (m / min)		73,15	73,15	73,15		
Flujo espec. (Pers./ m min)		41,01	41,01	41,01		
Flujo (Pers./ periodo)		10,00	14,00	14,00		
Circulación (Periodos)		1,00	1,00	1,00		
VIA 1	origen destino	HAE.3 ES32.2	ES32.2 HAE.2	HAE.2 E21.1	E21.1 HL1.1	HL1.1 DS1
Ancho efectivo mínimo (m)		1,35	1,35	1,35	1,35	4,00
Recorrido (m)		8,00	8,00	8,00	8,00	10,00
Velocidad (m / min)		65,53	65,53	65,53	65,53	65,53
Flujo espec. (Pers./ m min)		57,42	57,42	57,42	57,42	57,42
Flujo (Pers./ periodo)		13,00	13,00	13,00	13,00	38,00
Circulación (Periodos)		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
VIA 2	origen destino	GM1.1 DS2				
Ancho efectivo mínimo (m)		1,40				
Recorrido (m)		14,00				
Velocidad (m / min)		73,15				
Flujo espec. (Pers./ m min)		41,01				
Flujo (Pers./ periodo)		10,00				
Circulación (Periodos)		1,00				

Figura 8.21 Modelado de la red: Entrada datos de los arcos

Una vez introducidos los datos se determina el tiempo de evacuación de cada una de las dependencias, resultando los valores mostrados en la figura 8.22. Ciertamente en este caso podría considerarse una situación irrelevante, de entrada es obvio que el mayor tiempo de evacuación corresponderá a la tercera planta, es la más alejada a la salida y con mayor ocupación. Según puede observarse en la representación de la red estática, la evacuación del gimnasio se realiza íntegramente hacia el destino DS2.

EXITE3 EVACUACIÓN DEPENDENCIAS ORIGEN		CASO E1					
DESTINOS	DEPENDENCIAS ORIGEN						
	P3O	P3E	P2O	P2E	P1O	P1E	GM1
Ocupación	150	125	135	120	88	135	40
DS1	150	125	135	120	88	135	0
DS2							40
Tiempo ev. (periodos)							

Figura 8.22 Primera fase del proceso de resolución

En principio se opta por una evacuación óptima, si bien podría efectuarse la evacuación de cada una de las plantas, por ejemplo podría tener prioridad la evacuación de la planta 3 o bien la 2.

EXITE3			RESULTADOS			CASO E1		
TIEMPOS EVACUACIÓN			calculados (segundos)	teóricos sin retención (segundos)	factor congestión			
Planta 3			200	50	4,00			
Planta 2			380	70	5,43			
Planta 1			420	90	4,67			
EDIFICIO			430	110	3,91			
			Tiempo evacuación (segundos)	Número personas evacuadas (Pers./ periodo)				
Valor medio			181	18.4				
RETENCIONES								
Ubicación		Periodo		intervalo		Máxima	Magnitud	
Origen	Destino	inicio (segundos)	fin (segundos)	(s)	%	(Pers.)	(Pers.)	
E21	HL1	35	105	70		141	22	
GM1	DS2	5	25	20		18	2	
HAE3	E32	3	30	27		160	235	
HAE2	E21	3	40	37		187	675	
ANÁLISIS DESTINOS EVACUACIÓN								
		Capacidad (Pers.)	Utilización (Pers.)	% utiliz.	% capac.			
DS1		1000	753	94,96	75,30			
DS2		500	40	5,04	8,00			
TOTAL		1500	793					

Figura 8.23 Análisis de resultados

Tal como muestra la figura 8.23, el tiempo necesario para abandonar la tercera planta es de 200 segundos, la segunda 380 y la primera 420. Se observa que la evacuación del edificio resulta absolutamente condicionada por la anchura de la escalera, resultando especialmente críticos el acceso a la misma desde la tercera y la segunda planta. Al estudiar las retenciones se observa que el acceso a la escalera desde la segunda planta es de 25 periodos, o sea 250 segundos, se trata de un valor elevado dado que la escalera es un recinto que no dispone de ningún tipo de compartimentación y esta vía de evacuación única podría verse afectada por cualquier incidente en el edificio que generara humo.

El tiempo de evacuación no resulta afectado por la anchura de las puertas de salida de las aulas, debido a las retenciones que se producen en la segunda y la tercera planta, pocos segundos después de iniciarse la evacuación existen un número importante de personas que si pudieran circularían por la escalera, la ocupación de dichos pasillos puede observarse en las figuras 8. 24 y 8.25. Por su parte la salida desde el hall de la planta baja hasta el destino solamente aprovecha su capacidad cuando se produce simultáneamente la evacuación de la planta baja y el resto de plantas. Al juntarse ambos flujos de salida algunos instantes se produce una ligera retención.

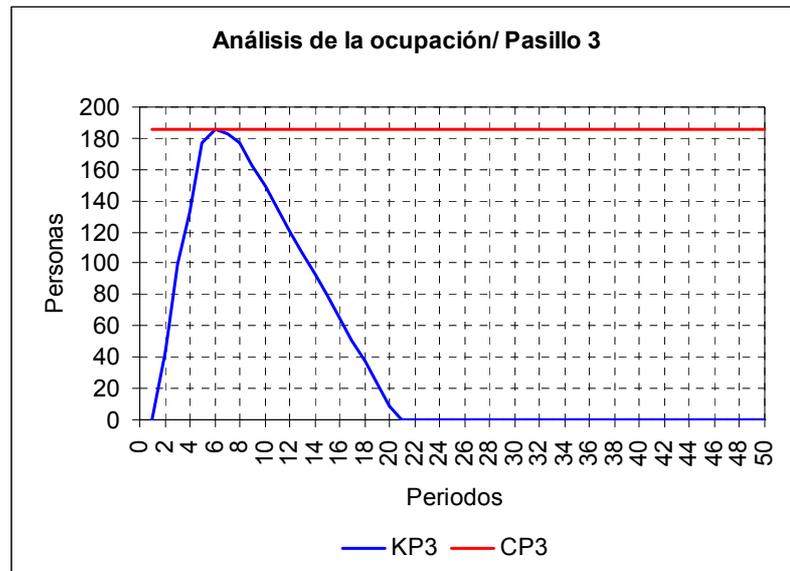


Figura 8.24 Análisis de resultados: ocupación pasillo tercera planta

Analizando las figuras 8.24 y 8.25 puede observarse como la ocupación de los pasillos de las plantas 2 y 3 aumenta rápidamente, no puede ser de otra manera dada la capacidad de acceso que existe hacia los mismos. La salida viene condicionada por la capacidad de la escalera. En ambos pasillos puede apreciarse que durante unos instantes alcanzan su capacidad, en el tiempo que el pasillo estuviera completamente ocupado sería imposible la salida de las aulas y podría constituir una situación angustiosa para las personas que debieran permanecer en las mismas.

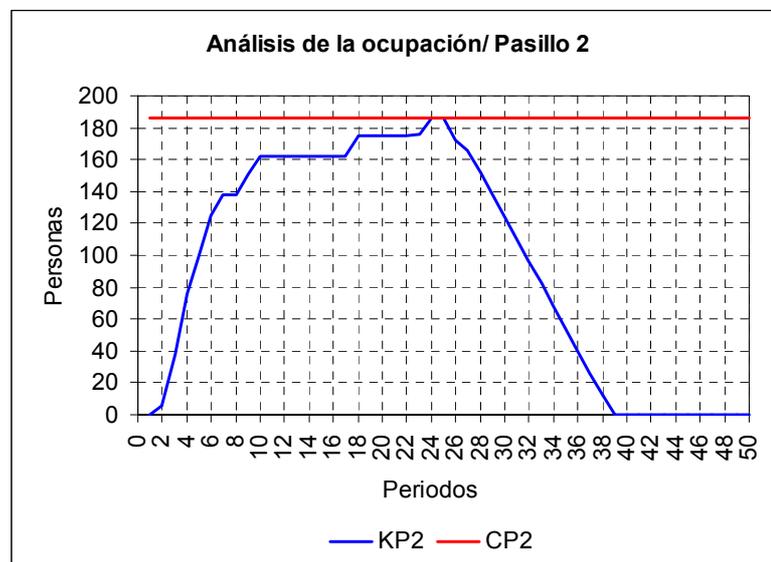


Figura 8.25 Análisis de resultados: ocupación pasillo segunda planta

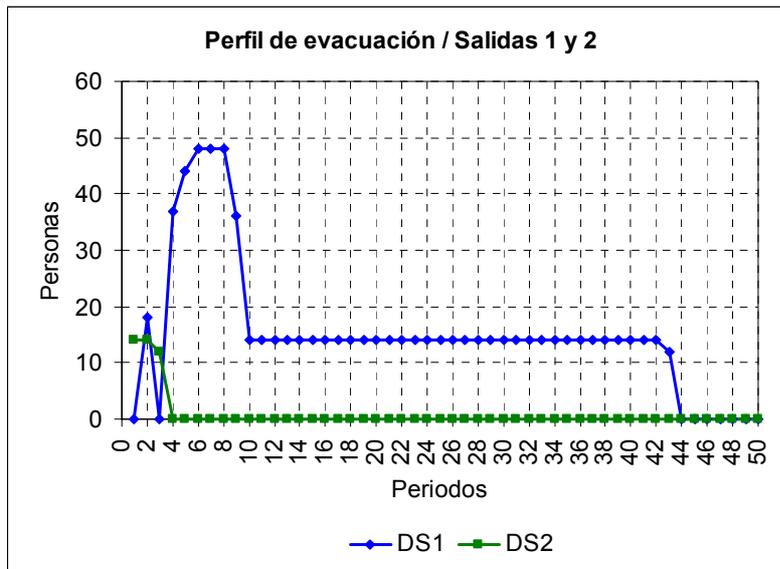


Figura 8.26 Análisis de resultados: Perfil de evacuación registrado salidas 1 y 2

Mediante los gráficos correspondientes a la representación del perfil de evacuación, es posible analizar las salidas que se registran. En la figura 8.26 pueden apreciarse las salidas que se registran en las salidas 1 y 2, mientras que en la figura 8.27, se visualiza periodo a periodo el número total de personas que han abandonado el edificio.

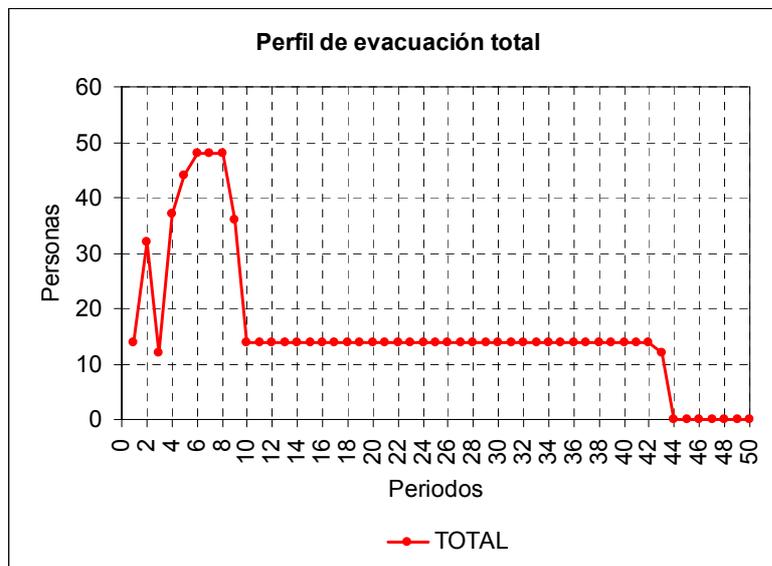


Figura 8.27 Análisis de resultados: Perfil de evacuación total

A continuación se lleva a cabo el proceso de validación de los resultados, en primer lugar se observa en la figura 8.28 que guardando un cierto paralelismo los puntos de registro de las salidas están situados encima de la función de evacuación teórica lo que puede dar lugar a pensar que la velocidad de circulación y los flujos son superiores a los considerados en el modelo.

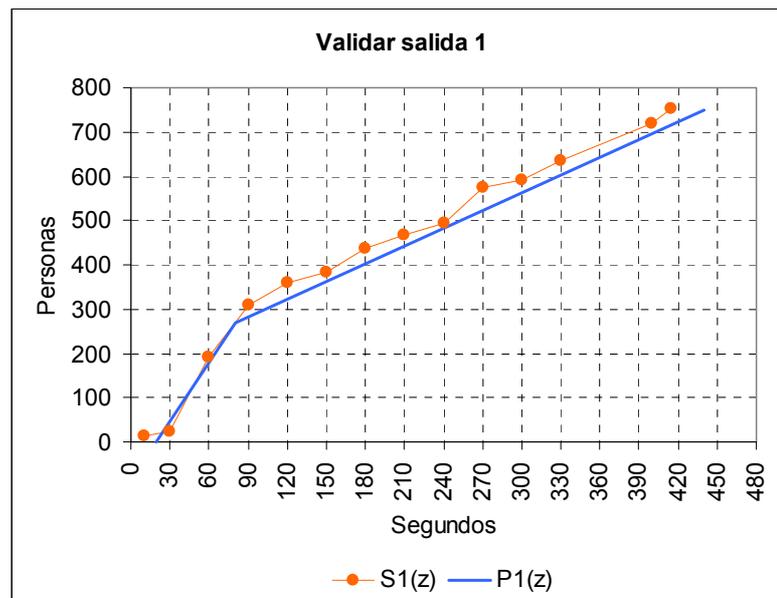


Figura 8.28 Verificación del modelo

Dada la problemática que presenta el edificio se realizan diferentes hipótesis con el fin de determinar las soluciones que resulten más viables.

Primera situación. Todo parece indicar que el problema fundamental de la evacuación de este edificio viene determinado por la anchura de la escalera. Es por ello que debe analizarse la incidencia de incrementar la anchura de la misma, concretamente analizando la evacuación si la anchura de la escalera fuera de 2,80 metros, el tiempo de evacuación se reduce a 240 segundos, el tiempo medio de evacuación es de 120 segundos y abandonan el edificio 33 personas cada periodo, el factor de congestión se ha reducido a 2,2 y el tiempo necesario para desalojar cada planta es de 100, 190 y 230 segundos respectivamente. Sin lugar a dudas es una solución, pero en un edificio construido, como es el caso que nos ocupa, implica realizar obras inviables.

Segunda situación. Se trata de suponer en el modelo que la circulación en las escaleras, manteniendo la misma capacidad la circulación, es más rápida. A esta situación podría contribuir el organizar la evacuación de forma que el movimiento de los ocupantes se desarrollara con la máxima rapidez. Aplicando dicha hipótesis resulta un tiempo de evacuación de 390 segundos, tan solo supone reducir 30 segundos respecto la situación planteada inicialmente, el tiempo medio de evacuación es de 168 segundos y abandonarían el edificio 19,3 personas cada periodo, el coeficiente de congestión sería de 5.9 y el tiempo necesario para abandonar cada planta de 200, 380 y 400 segundos. Al aumentar la velocidad de desplazamiento se incrementa la retención en la planta 2. Puede concluirse que en este caso no resulta relevante la velocidad de desplazamiento de los ocupantes que se haya considerado.

Tercera situación. La salida hacia el destino 1 está formada por dos puertas que cada una de ellas aporta un capacidad de paso de 24 personas por periodo, la situación que se plantea consiste en suponer que solamente se utilizara una de ellas. Se trata pues de contemplar la hipótesis del bloqueo de una puerta de salida. En este caso el tiempo de

evacuación sería de 6,8 minutos, lo que supondría un tiempo medio de evacuación de 187 segundos y tan solo en promedio abandonarían el edificio 18,3 personas, siendo el tiempo necesario para abandonar cada planta de 240, 380 y 400 segundos. En conclusión sería una situación realmente grave para el edificio. Debe concluirse que siempre que hubiera una evacuación de emergencia debería habilitarse la salida hasta el DS1 en condiciones de máxima capacidad.

Cuarta situación. Finalmente se contempla la instalación de una escalera de emergencia en el extremo del ala este de una anchura de 1,10 metros, lo que da lugar a una anchura efectiva de paso de 1 metro. Puede observarse en la figura 8.29 el modelado de incorporaciones a la red que resulta al considerar la instalación de dicha escalera.

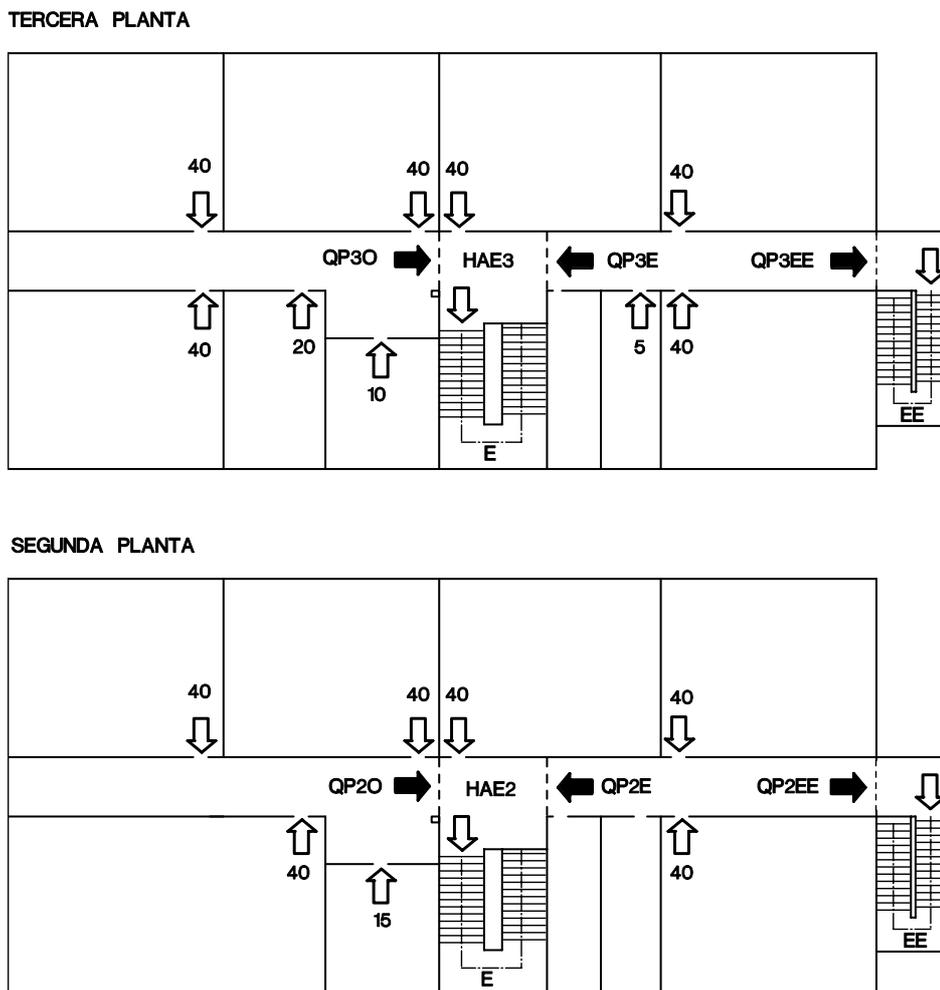


Figura 8.29 Verificación del modelo

Los valores de las incorporaciones a la red del ala oeste es el mismo que el analizado en el primer caso, mientras que los valores a que da lugar el modelado de incorporaciones a las escaleras desde el ala este son los siguientes:

$$QP3E(I) = (0, 18, 39, 39, 27, 2, 0, 0)$$

$$QP3EE(I) = (0, 31, 26, 39, 15, 3, 1, 0)$$

$$QP2E(I) = (0 , 13 , 13 , 39 , 27 , 26 , 2 , 0)$$

$$QP2EE(I) = (0 , 13 , 13 , 26 , 14 , 13 , 1 , 0)$$

La existencia en la segunda y en la tercera planta de dos salidas traerá consigo una distribución de los ocupantes de la planta entre las dos escaleras. Según puede observarse en la figura 8.30 la solución empieza determinando la distribución y los tiempos de evacuación de cada una de las dependencias ocupadas.

EXITE3 EVACUACIÓN DEPENDENCIAS ORIGEN CASO E4							
DESTINOS	DEPENDENCIAS ORIGEN						
Ocupación	P3O	P3E	P2O	P2E	P1O	P1E	GM1
DS1	150	125	135	120	88	135	40
DS2	150	6	135	47	88	135	0
DS3		119		73			40
Tiempo ev. (periodos)	14	13	12	11	9	10	8

Figura 8.30 Primera fase del proceso de resolución

En la representación de la red estática pueden observarse las principales magnitudes que definen este caso que se representa en 8.31. Esta situación supone introducir un nuevo destino al problema, se trata de DS3 con una capacidad de 1000 personas.

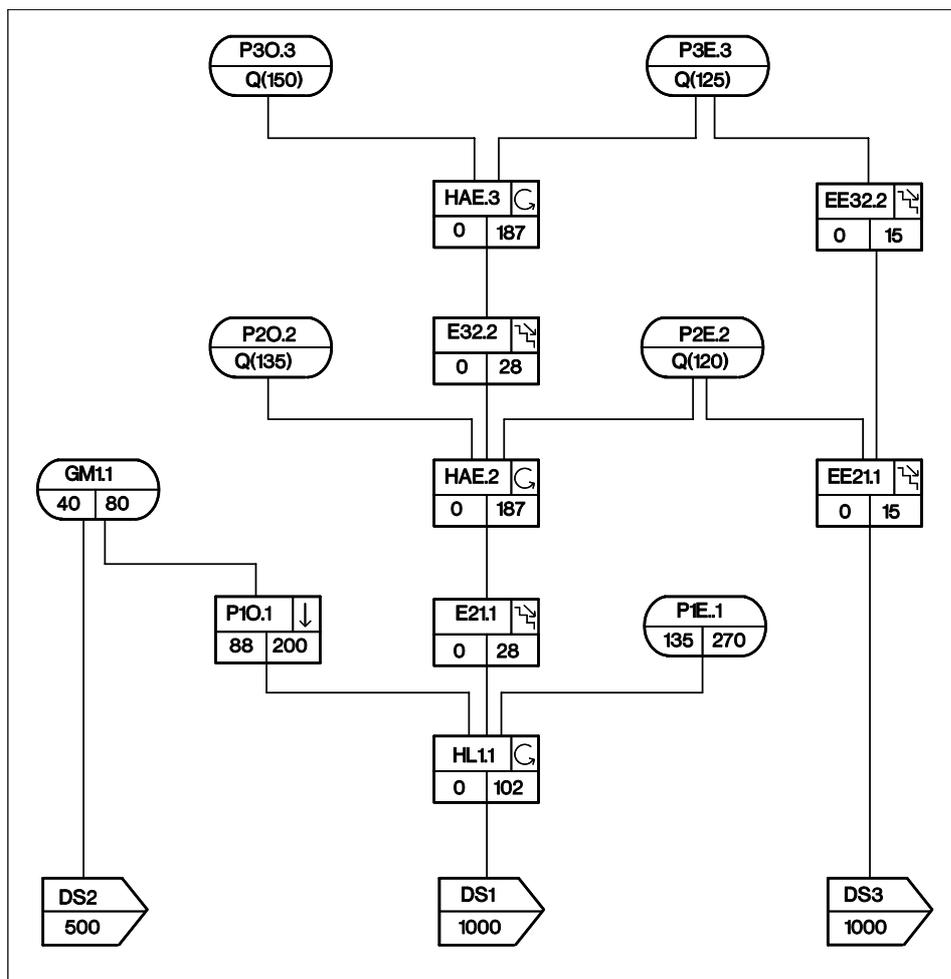


Figura 8.31 Red estática de flujo edificio escolar con salida emergencia

En 8.32 se presenta la tabla de resultados.

EXITE3 RESULTADOS				CASO E4			
TIEMPOS EVACUACIÓN		calculados (segundos)	teóricos sin retención (segundos)	factor congestión			
Planta 3		200	50	4,00			
Planta 2		270	70	3,86			
Planta 1		290	90	3,22			
EDIFICIO		300	110	2,73			
		Tiempo evacuación (segundos)	Número personas evacuadas (Pers./ periodo)				
Valor medio		127	15,3				

RETENCIONES							
Ubicación		Periodo inicio (segundos)	fin (segundos)	intervalo		Máxima	Magnitud
Origen	Destino			(s)	%	(Pers.)	(Pers.)
E21	HL1			230			244
GM1	DS2			20			2
EE21	DS03			25			235
HL1	DS01			5			15
AE2	E21			26			92
WE2	EE21			2			53

ANÁLISIS DESTINOS EVACUACIÓN				
	Capacidad (Pers.)	Utilización (Pers.)	% utiliz.	% capac.
DS1	1000	561	70,74	56,10
DS2	500	40	5,04	8,00
DS3	500	192	24,21	38,40
TOTAL	2000	793		

Figura 8.32 Análisis de los resultados de la cuarta situación

Se observa como el tiempo de evacuación ha disminuido espectacularmente, la evacuación del edificio se reduce a 300 segundos, con ello puede observarse que resultará muy favorable la construcción de la escalera de emergencia que se propone en este caso. Debe ponerse especial atención en la organización de la evacuación en la segunda y en la tercera planta, puede observarse en las figuras 8.33 y 8.34.

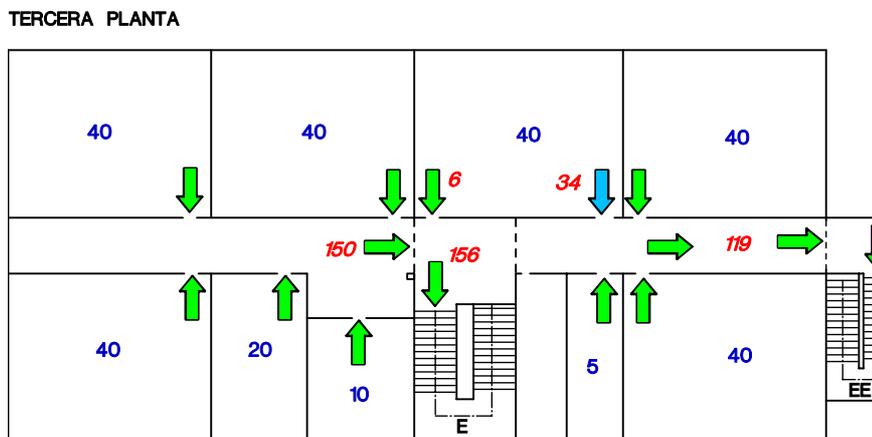


Figura 8.33 Distribución óptima de la tercera planta

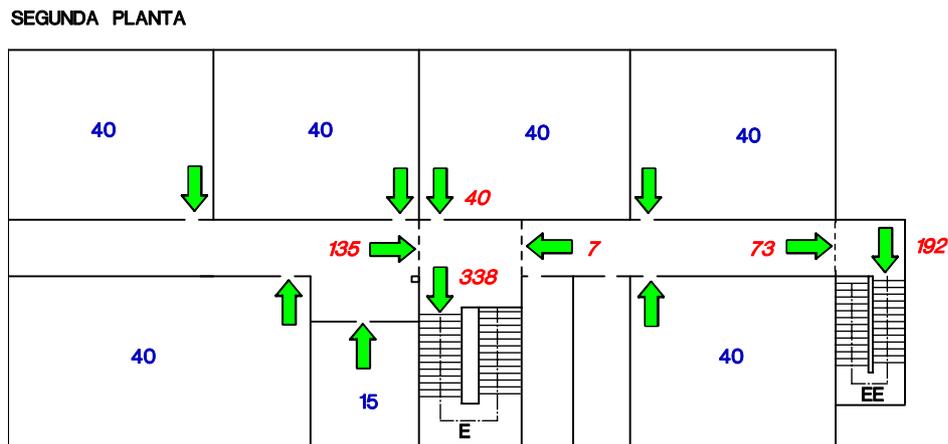


Figura 8.34 Distribución óptima de la segunda planta

Para organizar una evacuación de emergencia con las máximas garantías deberá dispo-nerse de dos Coordinadores de evacuación por planta, que distribuyeran de forma ade-cuada los ocupantes de la misma y garantizaran que nadie permaneciera en las dependencias que no están habitualmente ocupadas. Finalmente, en estas líneas se concluye este análisis, sin embargo mediante los diagramas de ocupación y del perfil de evacuación podrían conocerse más detalles de esta situación.

Para mostrar el desarrollo completo del problema de la evacuación de este edificio es-colar debe conocerse la organización de los ocupantes en el punto de reunión. En la si-tuación que se presenta en la tabla 8.35, la distribución se realiza por alas de planta, normalmente la distribución en un edificio escolar debería realizarse por grupos natura-les de actividad.

PUNTO DE REUNIÓN: Cálculo de la superficie requerida					
Ocupación	2,5	(Pers./m ²)			
Ancho pasillo	10	(m)			
Separación grupos	2	(m)			
SECCIÓN	Número ocupantes	Sup.ocup. (m ²)	Long. Pas. (m)	Separación secciones (m)	Distancia origen (m)
PLATA 3 ALA OESTE	150	60,00	6,00	2,00	8,00
PLATA 3 ALA ESTE	125	50,00	5,00	2,00	15,00
PLATA 2 ALA OESTE	135	54,00	5,40	2,00	22,40
PLATA 2 ALA ESTE	120	48,00	4,80	2,00	29,20
PLATA 1 ALA OESTE	80	32,00	3,20	2,00	34,40
PLATA 1 ALA ESTE	143	57,20	5,72	2,00	42,12
GIMNASIO	40	16,00	1,60	2,00	45,72
TOTAL	793		31,72	14,00	45,72

Figura 8.35 Diseño del punto del reunión

Como conclusión final y del análisis que aporta la seguridad contra incendios, se observa que al carecer la escalera principal de un sistema adecuado de ventilación y ser la única vía de evacuación, si se produjeran humos en la planta baja se podría obstaculizar la circulación por la escalera por lo cual la solución de la escalera de emergencia resulta realmente adecuada, se considera que supondría una buena solución para el problema. Sin embargo todavía quedaría por resolver la problemática de personas que presentaran algún tipo de discapacidad, en este caso inevitablemente la solución pasaría por disponer de un medio mecánico de evacuación en el extremo de la otra ala del edificio.