

CAPITULO 3: MODELIZACIÓN DEL SISTEMA

3.1 POSIBILIDAD DE ESTUDIAR EL PROBLEMA

Durante mucho tiempo ha existido la creencia que en condiciones extremas era frecuente la aparición del “pánico”, entendido como una sensación exagerada de miedo que tiene su origen en un peligro real o supuesto que buscando la propia supervivencia conduce a los individuos a actuaciones irreflexivas, esta actitud muchas veces puede resultar autodestructiva y además causar graves problemas a todo el colectivo afectado por el siniestro. Las publicaciones de D. Sime [179], J. L. Bryan [10], G. Proulx [150], R. Fahy [26] o T. Shields [174], en las que se analiza la actuación de los ocupantes de los edificios en diversos siniestros, básicamente incendios, demuestran que comportamientos inadaptados tan solo se producen en un número reducidos de casos.

El hecho de suponer que las personas en situaciones críticas mantengan una determinada racionalidad permite estudiar con una cierta verosimilitud el proceso de la evacuación de un edificio, siendo posible pronosticar ciertos patrones de comportamiento, utilizar modelos generales de locomoción de las personas y planificar evacuaciones de emergencia como herramienta para reducir el riesgo. De considerar cierto el “pánico” y admitir como actitud habitual un comportamiento descontrolado de las personas en situaciones de emergencia resultaría mucho más complejo efectuar cualquier tipo de pronóstico, hasta el punto que posiblemente no tuviera sentido el estudio del problema.

3.1.1 Definición del sistema de evacuación

Un sistema de evacuación consiste en un conjunto de dependencias comunicadas entre sí, ocupadas por un determinado número de personas con unas determinadas características individuales, que tratan de desplazarse desde unas dependencias inicialmente ocupadas hasta otras que constituyen el destino de la evacuación, en la figura 3.1 puede observarse una representación de este sistema.

Un sistema de evacuación simple sería el formado por una sola dependencia origen, una dependencia de circulación y un único destino, sin embargo el problema normalmente se presenta en edificios en los cuales hay una serie de dependencias ocupadas por un número variable de personas que se dirigen a uno o a varios destinos. Las características de las dependencias y la forma de conectarse dan lugar a los diferentes elementos de paso y unas determinadas condiciones arquitectónicas. Si bien el destino de evacuación generalmente es una zona inmediata del edificio con capacidad suficiente para albergar la totalidad de los ocupantes, en ocasiones el destino de evacuación puede ser una dependencia más del edificio que reúna unas condiciones de ubicación segura.

El edificio y el punto de reunión constituyen el escenario en el cual se desarrollan los acontecimientos, mientras que la totalidad de personas presentes en el edificio son los actores que ponen en marcha el proceso. Resulta inmediato pensar que diferentes aspectos del edificio, así como las características físicas y de comportamiento de los individuos son quienes configuran el sistema.

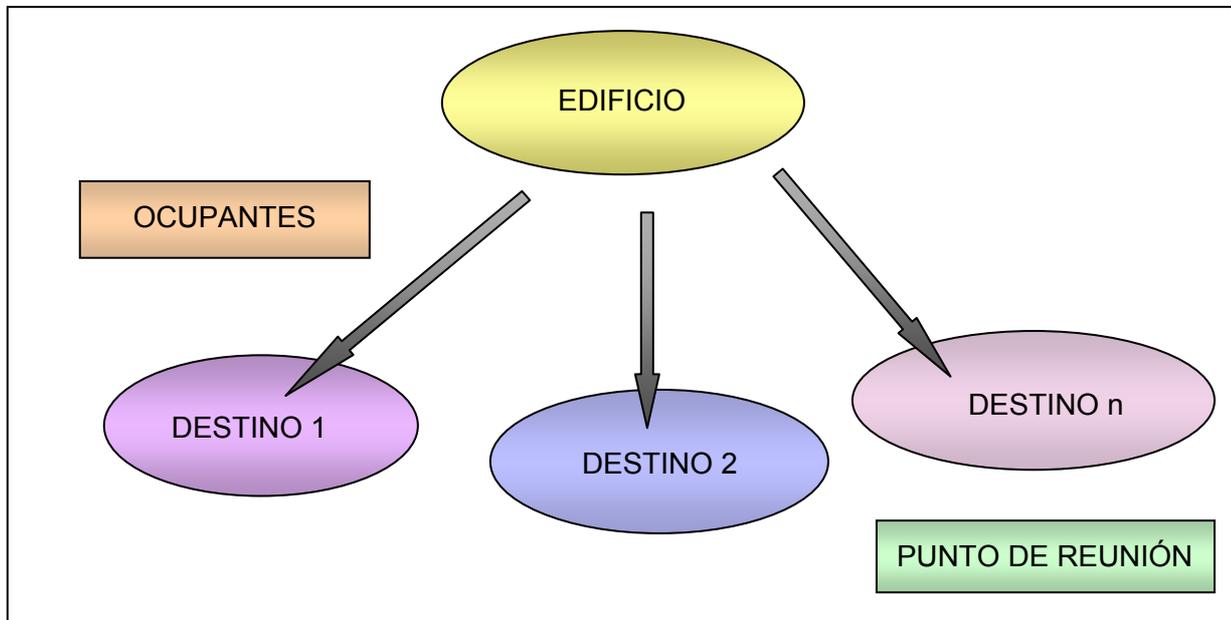


Figura 3.1 Representación de un sistema de evacuación

3.1.2 Análisis de los factores que determinan el sistema de evacuación

Se deben identificar los aspectos que configuran el sistema de evacuación, el punto de partida de este proceso de identificación son los trabajos sobre la evacuación de edificios publicados en las últimas décadas. A partir de estas investigaciones ha sido posible clasificar y agrupar en diferentes conceptos los aspectos que se consideran determinantes del problema. En esta tesis, todos estos aspectos que configuran el sistema de evacuación se definen como **factores significativos** del problema y se agrupan en cinco apartados: Configuración del edificio, factores ambientales, características personales, conducta de los individuos, y procedimientos establecidos e implantados, todos ello se sintetiza en la representación de la figura 3.2. Referencias concretas sobre los aspectos globales que caracterizan el problema se han hallado en una publicación de G. Proulx [150] y en las introducciones que presentan los modelos de simulación de E. Galea, concretados en un trabajo de S. Gwyne [61].

El primer factor determinante del proceso de evacuación, **la configuración del edificio**, define el entorno en el cual se produce la emergencia. Se trata del conjunto de características arquitectónicas del edificio que determinan las condiciones de evacuación y las características del punto de reunión. Con el nombre de **factores ambientales** se indican un conjunto de efectos físicos y químicos que se desencadenan al producirse cualquier evento capaz de poner en marcha la evacuación del edificio. No existen fenómenos de estas características en una amenaza de bomba, sin embargo en caso de un incendio se desarrollan una serie de fenómenos físico-químicos que pueden afectar a las personas

provocando la expansión de humos y gases tóxicos, la transmisión del calor o la existencia de efectos radiantes. Como tercer factor significativo se consideran **las características personales** de los ocupantes, básicamente se distingue su capacidad física e intelectual. De igual forma, resulta esencial conocer la **conducta** individual y colectiva de los ocupantes al conocer una eventual situación de peligro mediante una señal de alarma, con el fin de pronosticar un desplazamiento inmediato, considerar demoras en el inicio de la evacuación o bien el mecanismo de decisión que conduce a utilizar una determinada salida. Finalmente como **procedimientos** se contempla la incidencia en el proceso de la evacuación del edificio de aspectos organizativos, como la existencia de procedimientos establecidos y conocidos por los ocupantes que deben dar lugar a actuaciones planificadas tratando de corregir la improvisación que producen estas situaciones.

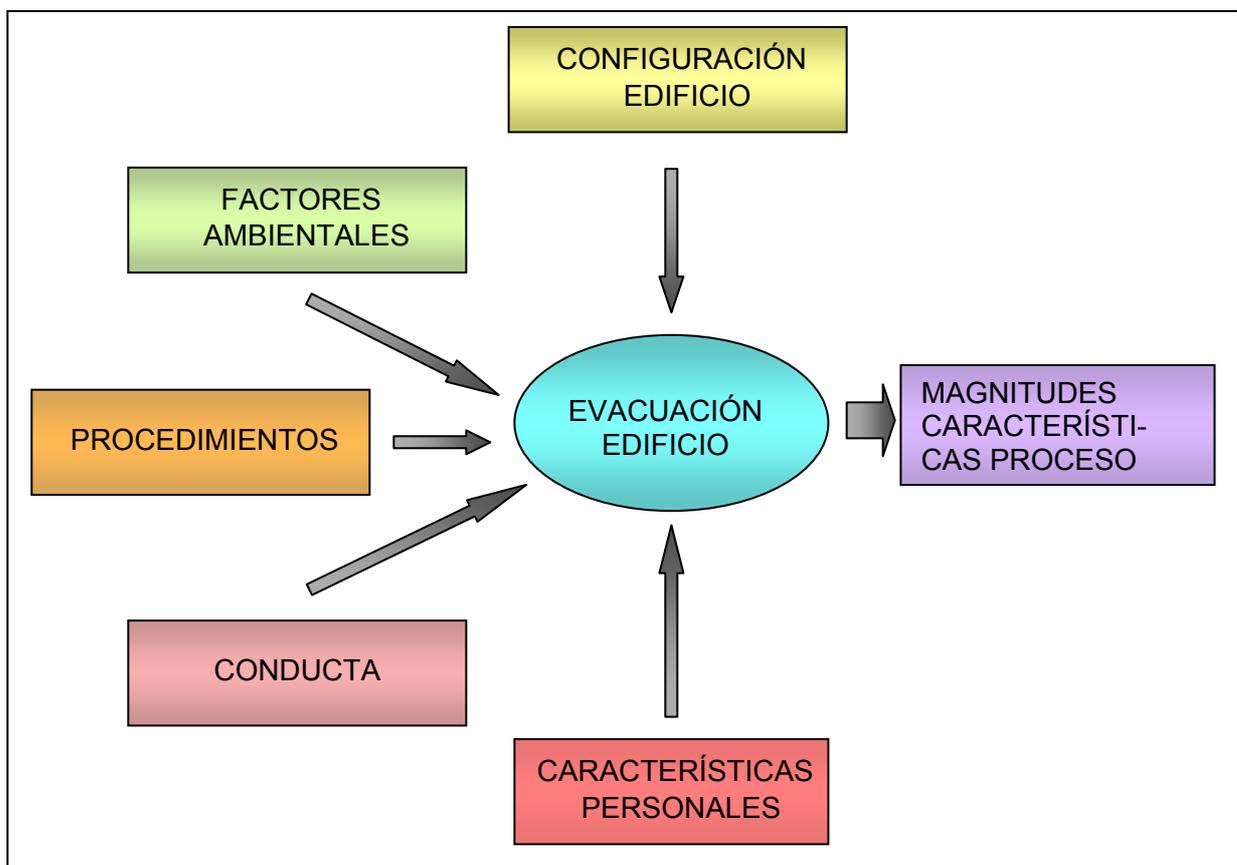


Figura 3.2 Factores que determinan el sistema evacuación

3.2 ANÁLISIS DE LA CONFIGURACIÓN DEL EDIFICIO

Las características arquitectónicas y las condiciones de utilización o explotación tienen una importancia decisiva en el proceso de evacuación de los edificios, ambos aspectos se hallan regulados por normativas como la “Norma Básica de la Edificación- Condiciones de Protección Contra Incendios en los Edificios (NBE-CPI-96)” y las reglamentaciones específicas que regulan las actividades que se desarrollan en los mismos por ejemplo el “Reglamento de Policía y Espectáculos Públicos” que regula las actividades en edificios de pública concurrencia, la directiva 89/654/CEE cuyo contenido está

traspuesto al estado español mediante el decreto 486/1997 en el cual se establecen las condiciones mínimas de seguridad y salud en los centros de trabajo, de igual forma podrían citarse otras normas y actividades. De este modo es posible afirmar que actualmente la práctica totalidad de actividades que se desarrollan en los edificios se hallan reguladas y existen normas que establecen de forma precisa las condiciones arquitectónicas de los edificios. Una parte del diseño se basa en la correcta aplicación de las normas existentes, los edificios que no reúnen las condiciones legalmente establecidas no se permite su utilización y explotación.

Las características arquitectónicas más relevantes desde la perspectiva del problema de su evacuación son, el número de plantas que dan lugar a la **altura de evacuación**, la superficie de cada planta, la distribución geométrica de la planta, la ubicación de las salidas, las características de los elementos de paso, las dimensiones de los pasillos, las dimensiones y la configuración de las escaleras, la existencia y características de medios mecánicos para el desplazamiento de los ocupantes como ascensores y escaleras mecánicas, la existencia y características de los sistemas de señalización, las condiciones de iluminación y alumbrado, la compartimentación y resistencia al fuego y por último, las características de los sistemas de ventilación. La ubicación **de las salidas** es un aspecto fundamental del problema, las normas establecen la situación de las mismas básicamente para garantizar recorridos mínimos, circulación independiente, la posible utilización simultánea o bien alternativa en situaciones de emergencia. De la misma forma se hallan completamente definidas las características de los elementos de paso, como las características y los sistemas de apertura de puertas en función de las peculiaridades del recinto. Las principales características de los pasillos como elementos del sistema de evacuación son, la anchura mínima de paso, su longitud y su condición para mantener la capacidad de circulación en caso de un siniestro manifestado por la resistencia al fuego, así como los sistemas de ventilación de que disponga. Cuando se reúnen unas determinadas condiciones se lo califica de **pasillo protegido**. Actualmente se considera que tiene poca incidencia en la circulación las características del piso, sin embargo, sí que tiene efecto sobre la capacidad de circulación la rugosidad de las paredes, los estudios de J. Pauls [116] determinan que se produce una significativa reducción del **ancho efectivo** cuando las paredes son rugosas.

En lo que a escaleras hace referencia, cabe citar que existen de varios tipos, de tramos rectos, circulares y de caracol. Las más habituales son las de tramos rectos, por su parte, las circulares deben cumplir determinadas condiciones para poder ser aceptadas como escaleras de evacuación. Básicamente las escaleras se caracterizan por sus condiciones geométricas, dimensiones de la huella, de la contrahuella y del bocel, la existencia de resguardos y por último, la configuración de la misma en tramos de descenso y mesetas. De la misma forma que los pasillos, las escaleras como elemento de evacuación deben garantizar una determinada resistencia al fuego, así como una capacidad de aislamiento y deben disponer de sistemas de evacuación de humos, si reúnen favorablemente estas condiciones pueden tener la calificación de **escalera protegida**. En la mayoría de edificios existen **medios mecánicos de desplazamiento**, ascensores, escaleras móviles y rampas mecánicas. Normalmente se recomienda no utilizar los ascensores en situaciones de emergencia, básicamente por la posibilidad de fallar el sistema de suministro de energía y quedar personas atrapadas en los mismos, además, los huecos destinados a su

desplazamiento pueden constituir conductos de circulación de humos, la circulación del ascensor actúa como elemento de bombeo. Sin embargo más allá de la aparente evidencia de estas posibilidades, existen estudios rigurosos que puntualizan posibles condiciones de utilización de los ascensores en situaciones de emergencia, se trata de los trabajos de J. Klote y G. T. Tamura [88]. En general los medios mecánicos constituyen un sistema eficaz de desplazamiento de las personas en los edificios, sin embargo en esta tesis no se contempla su modelización.

Señalización de salidas habituales



Señalización de salidas de emergencia



No utilizar en emergencia

Figura 3.3 Muestra de señalización instalada en los edificios

La **señalización** instalada en las paredes y la directamente situada en las salidas sirve para indicar recorridos hacia los destinos de evacuación, la señalización acústica y los sistemas de señalización ópticos indican a los ocupantes de los edificios la existencia de una situación de emergencia. En la señalización instalada en los edificios se distinguen los paneles informativos y las señalizaciones propiamente dichas que conducen a salidas habituales, las que indican salidas de emergencia, las salidas que no deben utilizarse, así como, indicaciones generales de operatividad. En la figura 3.3 se muestran algunos símbolos correspondientes a las Normas UNE 23-033-81 “Seguridad contra incendios. Parte 1: Señalización”, UNE 23-034-88 “Seguridad contra incendios. Señalización de seguridad. Vías de evacuación” y UNE 23-035-95 “Seguridad contra incendios. Señalización fotoluminiscente. Parte 1: medida y calificación”. A su vez, las condiciones de

iluminación y en general los sistemas de alumbrado instalados deben posibilitar el desplazamiento de los ocupantes de los edificios por las vías de evacuación en cualquier circunstancia, para esta función están reglamentariamente establecidos los sistemas de alumbrado de emergencia según la norma UNE 23-035. Finalmente dentro de las **condiciones de utilización y explotación** se contempla la actividad desplegada en el edificio, la existencia de determinados productos o materiales, las características de los procesos que se desarrollan y los servicios emplazados. Todo ello configura una situación de riesgo, en función de la cual, se habrán establecido ciertas características del edificio.

3.3 ANÁLISIS DE LOS FACTORES AMBIENTALES

Como factores ambientales se consideran cualquier tipo de efecto físico o químico que potencialmente sea capaz de afectar el proceso de una evacuación de emergencia en un edificio. Los factores ambientales en gran medida dependen de las condiciones de utilización y explotación del edificio, los fenómenos que se producen influyen directamente en la capacidad de los ocupantes de encontrar las salidas y alteran las magnitudes de locomoción de los individuos.

3.3.1 Efecto del humo, de los gases narcóticos y de los irritantes

El humo consiste en la existencia de una serie de partículas visibles dispersas en el aire producidas por un incendio que causa una dificultad de visión y afecta física y psicológicamente los ocupantes. La obscuración ocasionada por el humo depende de la concentración de partículas en el ambiente, normalmente después de la percepción de la presencia de humo existe un proceso de aclimatación hasta el instante en que se produce la reacción; en general, la velocidad de reacción será función de la gravedad del incidente percibida por las condiciones de obscuración que produce. Durante el proceso de evacuación de un edificio, el humo puede afectar en la respuesta de los ocupantes de forma diferente, en principio como efecto positivo **advierde de la existencia de un incendio** y provoca su respuesta, a su vez, afecta negativamente cuando los ocupantes deciden abandonar el recinto, dado que el nivel de humo en el ambiente **dificulta encontrar las salidas**, al tiempo que **reduce las velocidades de desplazamiento**, pudiendo incluso bloquear alguna vía de evacuación. Existen numerosos estudios del efecto del humo en la conducta de los ocupantes de los edificios, en uno de ellos Wood [213] a partir del análisis de 952 incendios identificó varios factores que motivaban el movimiento a través del humo, llegando a la conclusión que en el 60 % de los casos los ocupantes decidían desplazarse a través del humo, de forma prácticamente idéntica J. L. Bryan [8] analizando 335 incendios en edificios residenciales concluyó que en el 62,7 % de los casos también decidían desplazarse a través del humo. Proulx y Fahy [28] en el estudio del incendio del World Trade Center de Nueva York ocurrido el año 93 también concluyen que el 84 % de los ocupantes intentó desplazarse a través del humo.

Una vez se ha determinado que un porcentaje elevado de ocupantes probablemente de-

cida desplazarse a través del humo conviene analizar la forma en que el humo afecta la locomoción de las personas en los edificios, en principio depende de las **características** del humo y de la **familiaridad** que tengan los ocupantes con el recinto, pero además existen otros factores fisiológicos y psicológicos destacados que estudiaron Jin y Yamada [76], para ello estos autores efectuaron una serie de experiencias encaminadas a estudiar los efectos del humo de diferentes características en las personas. Diferenciaron el efecto del humo con propiedades irritantes y no irritantes, estudiaron el comportamiento de los individuos en un pasillo de 20 metros de longitud en el cual se visualizaba una señal de salida, estudiaron la relación entre las velocidades de circulación y las condiciones de visibilidad, y verificaron que los efectos psicológicos del humo eran distintos en los hombres y en las mujeres, de forma que los hombres tienden a tener un comportamiento más emocional, mientras que las mujeres tienden a controlar mejor el efecto psicológico y actúan de forma más racional. Sería interesante conocer de forma precisa y fiable la variación en las magnitudes de locomoción en función del tipo de humo y de su concentración.

Una vez se han citado ciertos aspectos genéricos del efecto del humo, debe contemplarse la incidencia de los gases narcóticos e irritantes, normalmente procedentes de un incendio. Los **gases narcóticos** pueden imposibilitar la circulación, y en casos extremos pueden producir la muerte. Dichos gases pueden afectar el sistema nervioso central provocando la inconsciencia y la imposibilidad de escapar. Los efectos fisiológicos de los gases narcóticos pueden analizarse a partir de la concentración en el ambiente y el tiempo de exposición debiéndose evaluar a partir del concepto de “dosis inhalada”. Estos modelos determinan el efecto que produce la dosis recibida determinando cuando se produce la incapacitación o la muerte. De forma análoga los **gases irritantes** afectan a los individuos causando una irritación sensorial, que puede producir dificultades respiratorias resultando desplazamientos más lentos en exposiciones a dosis bajas, pero puede tener resultados fatales en exposiciones a dosis más elevadas. El método de análisis se resume en identificar los materiales objeto de la posible combustión, determinar los productos generados por la misma y evaluar las dosis que pueden afectar a los ocupantes y sus consecuencias.

3.3.2 Efecto del calor y de los fenómenos radiantes

El estudio de la influencia de los fenómenos físicos en el proceso de evacuación resulta más complejo de analizar que los fenómenos químicos. Cuando se produce un incendio, en muchos casos, un efecto inmediato es la presencia en el ambiente de productos derivados de dicha combustión, al percibirse normalmente se desencadena el proceso de evacuación. Sin embargo en los edificios pueden existir productos de elevada potencia calorífica y combustión rápida, por ejemplo combustibles líquidos o gases, entonces antes de apreciarse la existencia de humos, el edificio se ve afectado por el calor y la evacuación condicionada por el mismo. El calor se transmite por conducción, convección y radiación, resultando difícil evaluar la cantidad de calor que puede recibir cada individuo. Una manifestación del nivel de calor que afecta una dependencia es la tempe-

ratura y en función de la misma cabría pronosticar los cambios en las magnitudes de locomoción, pero no se conocen estudios que establezcan dicha relación.

Las consecuencias de la exposición a **temperaturas elevadas** son el denominado “golpe de calor”, las quemaduras en la piel o bien en la tráquea en el sistema respiratorio. Determinados estudios revelan que las personas son capaces de soportar temperaturas realmente elevadas durante cortos espacios de tiempo, circunstancia que puede producirse en una evacuación de emergencia, en este sentido conviene tener presente que resulta más peligroso el aire saturado de humedad que el aire seco. El metabolismo humano en situaciones de aire seco tiene el recurso de la sudoración como mecanismo de adaptación y defensa a las elevadas temperaturas. Debe tenerse presente que en los edificios pueden utilizarse sistemas de extinción que provoquen la saturación de humedad del aire y la evacuación podría tener que desarrollarse en estas condiciones.

Directamente relacionado con el calor y los incendios se encuentran los **fenómenos radiantes**, si los ocupantes de un edificio deben circular en presencia fenómenos radiantes, normalmente a causa de un incendio, estarán sometidos a una fuente de energía externa que además de afectarles físicamente puede influir psicológicamente pudiendo inhabilitar las salidas próximas al foco de la radiación.

3.4 ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS PERSONALES DE LOS OCUPANTES

Mediante el concepto de características personales de los individuos se contemplan ciertas condiciones físicas y psíquicas que reúnen la mayoría de personas. Pero existen personas cuya capacidad de locomoción, auditiva o visual se halla disminuida y les impide desenvolverse normalmente en una evacuación de emergencia. No se considera que tenga importancia significativa si esta disminución de alguna facultad es temporal o permanente, aunque normalmente se admite que las personas con pérdida permanente de alguna capacidad han desarrollado habilidades substitutorias, por ejemplo personas con discapacidades visuales han realizado un proceso de adaptación a dicha situación. Merecen una consideración especial las personas cuya capacidad intelectual no les permite interpretar las indicaciones o seguir una determinada pauta de comportamiento en una situación de emergencia, en estos casos se precisa la colaboración directa de otros ocupantes para que puedan abandonar el edificio.

3.4.1 Dimensiones de los individuos

No se han realizado mediciones para determinar el valor medio de las dimensiones de los individuos en nuestro país, se adopta como válida la referencia genérica que asemeja la proyección horizontal de una persona adulta a una **elipse** en la cual el valor medio de los diámetros mayor y el menor son 0.61 y 0.46 metros respectivamente. Otra representación empleada es la propuesta por P. Thompson y E. Marchant [199] que se utiliza en el programa SIMULEX, consistente en representar las personas mediante **tres círculos**

cuyas dimensiones dependen del sexo y la edad de los individuos, dichas magnitudes se hallan en la tabla 2.13. Puede observarse en la figura 3.4 que existe una cierta equivalencia entre ambas representaciones, en esta tesis se utilizan indistintamente.

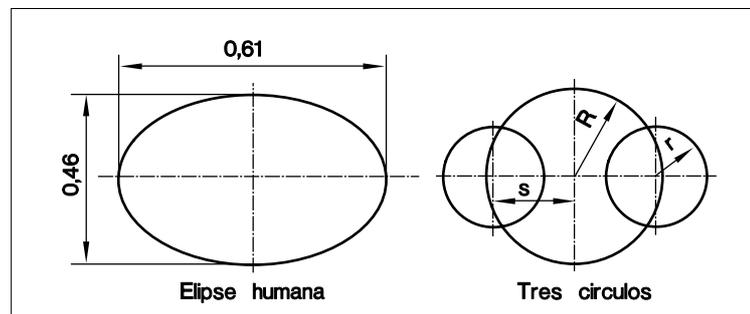


Figura 3.4 Representación la proyección de figura humana

Valores más precisos de las medidas antropométricas de las personas se hallan recogidas en diferentes trabajos, en la figura 3.5 se presenta una reproducción de las dimensiones de la figura humana proporcionada por NFPA en “Life Safety Code”. En la tabla 2.11 se muestran los valores de las dimensiones de las personas en función de su edad y finalmente en la tabla 2.2 las magnitudes de la superficie ocupada por los individuos según la vestimenta, con niños en brazos, efectos de viaje y equipaje.

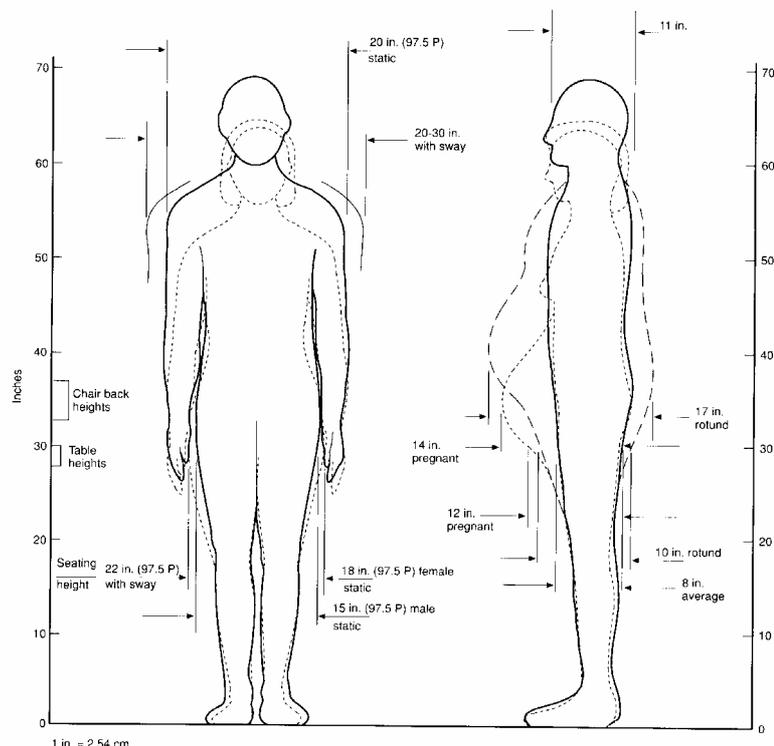


Figura 3.5 Medidas antropométricas de personas adultas reproducida de NFPA 101

Para analizar colectivamente la ocupación de los recintos por las personas, en esta tesis se adopta como referencia las tablas proporcionadas por J. J. Fruins [45] y reproducidas en la tabla 2.5 y en el anexo 1. Este mismo autor afirma que alrededor de cada persona se establece un denominado **espacio vital** definido por un círculo de aproximadamente

107 centímetros, sobre este aspecto se ha observado que existen **aspectos socio culturales** significativos. Así por ejemplo, el comportamiento es diferente en personas adultas que guardan formalmente una separación entre ellas y que la que se produce en jóvenes en actividades recreativas. Entonces, la forma de operar que se propone consiste en pronosticar el **nivel de servicio** según las tablas de J. J. Fruins, y pronosticar modelos la **conducta** de los ocupantes y a partir de los mismos será posible estimar ocupaciones y capacidades.

3.4.2 Magnitudes de locomoción

En los últimos 40 años se han realizado numerosos estudios sobre el movimiento de las personas en diferentes condiciones, se considera que actualmente las magnitudes que definen la capacidad de locomoción de los individuos se hallan debidamente documentadas, sin embargo puede existir la duda sobre si la población objeto de estudio cumple razonablemente dichos estándares.

Un primera aproximación de las magnitudes de locomoción puede consistir en estimar la velocidad de circulación de los individuos en función de su edad, en la publicación de J. Ando [2] cuyos resultados se resumen en la figura 3.6, se muestra la evolución de la capacidad de locomoción tanto de hombres como de mujeres en función de la edad, la velocidad es máxima entorno a los 20 años y luego desciende paulatinamente.

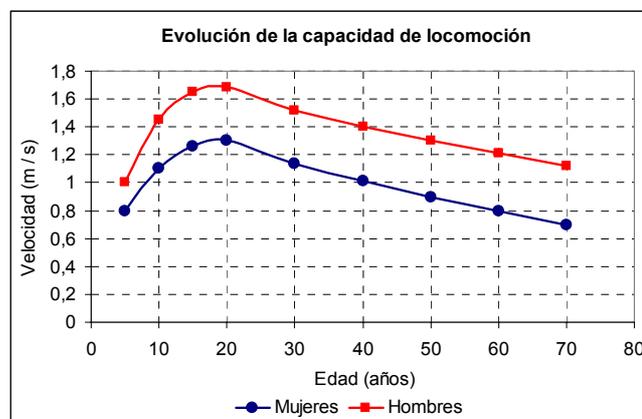


Figura 3.6 Evolución de la capacidad de locomoción según la edad de las personas

Valores más rigurosos de las magnitudes de locomoción de las personas los proporcionan los modelos que relacionan velocidades y flujos con densidades de ocupación, se trata de modelos basados en la formulación de K. Togawa. Es un hecho absolutamente aceptado y contrastado que la **velocidad de circulación** es máxima cuando no existe interferencia en el movimiento de las personas, disminuye linealmente con la **densidad de ocupación** y llega a anularse cuando se alcanzan valores de 3,5 personas por metro cuadrado, de la misma forma el valor de los flujos y la densidad de circulación se relacionan según una función cuadrática, aumentan cuando lo hace la densidad de ocupación hasta alcanzar un valor máximo en las proximidades de la densidad de ocupación de 2 personas por metro cuadrado y decrece llegando a anularse al alcanzar valores de

3,5 personas por metro cuadrado, puede observarse claramente en las figuras 2.17 y 2.18 del capítulo anterior. De forma analítica se trata de expresar que las velocidades de circulación son función de la densidad de ocupación

$$v(d) \quad (3.1)$$

estableciendo la relación instantánea según la cual el flujo es el producto de la velocidad por la densidad de ocupación, necesariamente éste también es función de la densidad

$$f(d) = d [v(d)] \quad (3.2)$$

Para determinar de una forma simple las magnitudes de locomoción a partir de la densidad, pueden utilizarse las tablas de J. J. Fruins, reproducidas en la tabla 2.6 y en el anexo 1. Guardan una cierta coincidencia con los modelos de Pauls y además se ha observado que efectuando la regresión de los valores de las mismas en la circulación horizontal, se obtiene el valor que proporcionan las ecuaciones de Nelson y McLennan. Ambas formulaciones son simples y ampliamente contrastadas.

En esta tesis como **modelo básico de trabajo** se utiliza el modelo de locomoción de J. J. Fruins, tal como se ha indicado para la circulación horizontal coincide con el de Nelson y McLennan. Las velocidades de circulación y los flujos en función de la densidad se representan en la figura 3.7, puede observarse que para cada valor de la densidad se presentan tres valores: un valor mínimo, un valor máximo y un valor medio, existiendo una mayor dispersión al aumentar la densidad, será preciso considerar de forma adecuada los valores a cada situación. En el capítulo 6, al analizar la validación del modelo se establece una posible forma de operar para utilizar valores debidamente ajustados.

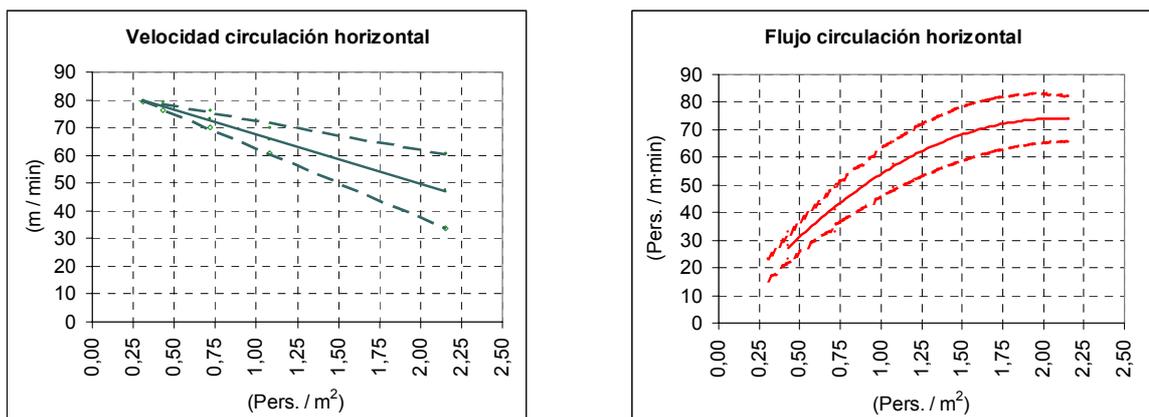


Figura 3.7 Modelo de Fruins para la circulación horizontal

Para la circulación en escaleras existen más variables implicadas que en el desplazamiento horizontal. Además de las dimensiones físicas de las escaleras tienen un efecto determinante en la velocidad de circulación la **dirección del movimiento**, movimiento ascendente o descendente, la existencia y la disposición de resguardos. De la misma forma que en el apartado anterior en la figura 3.8 se presentan las gráficas correspondientes de velocidades y flujos obtenidas a partir de las tablas proporcionadas por J. J.

Fruins, reproducidas en la tabla 2.7 y en el anexo 1. Debe hacerse referencia a la figura 2.18 del capítulo anterior, en la cual Nelson y McLennan proporcionan las magnitudes de locomoción en escaleras en función de diferentes condiciones geométricas. Y finalmente para determinar las magnitudes de locomoción en rampas pueden utilizarse las consideraciones que realiza J. L. Posada, analizadas en el apartado 2.7.1

El movimiento de personas discapacitadas no puede ser considerado simplemente como una ralentización de lo que podría considerarse velocidad de circulación normal. Existen diferentes niveles de discapacidad que afectan el movimiento, las discapacidades físicas, las visuales, las auditivas y las de comportamiento. Para estimar las magnitudes de locomoción de las personas con discapacidades físicas se consideran los valores que proporciona la tabla 2.12, en las cuales se indica el porcentaje de reducción de la velocidad sobre lo que se considera velocidad de circulación normal en función del tipo de ayuda que se utilice. Cuando se presenta otro tipo de discapacidad, puede resultar más difícil evaluar las magnitudes de locomoción y posiblemente no exista otra fórmula que experimentar para estimar dichas magnitudes.

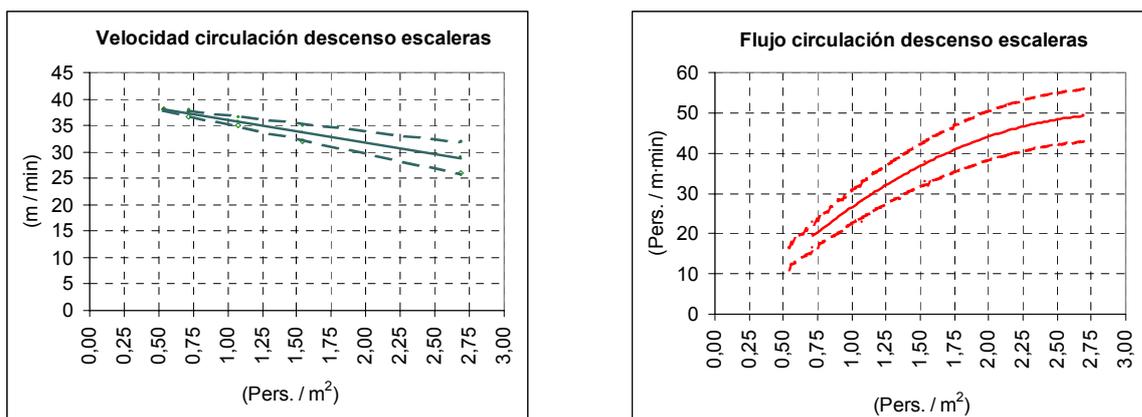


Figura 3.8 Modelo de Fruins para el desplazamiento en escaleras

Finalmente debe citarse un efecto de comportamiento común, consistente en el hecho que las personas cuando cruzan la salida del edificio **ralentizan su velocidad de circulación**, pudiendo provocar retenciones en el interior del edificio, se han realizado mediciones en las cuales dicha velocidad se reduce hasta un 50% en su magnitud. Es una situación perniciosa que requiere tomar las medidas oportunas para tratar de evitarla.

3.5 ESTUDIO DE LA CONDUCTA DE LOS OCUPANTES

En esta sección se analiza la conducta de los ocupantes de los edificios al percibir una señal de alarma y durante el desarrollo de la evacuación. En un principio la respuesta está condicionada por **la actividad** que está desarrollando el individuo: Durmiendo, trabajando, comiendo, comprando, siguiendo una actividad educativa, viendo una película, bailando, etc.. En cualquier caso, debe considerarse que las personas **necesitan tiempo** para la toma de decisiones, ante una señal de alarma es de esperar que no se produzca una reacción inmediata, y esta reacción siempre estará condicionada por otros factores

como el tipo de edificio, los sistemas de alarma y de señalización, la familiaridad de los ocupantes con el edificio y las interacciones que se establezcan entre los ocupantes.

Se afirma que las personas dudan hasta asegurarse de la necesidad de emprender cualquier acción y pueden producirse actuaciones de difícil pronóstico, en este sentido D. Sime [179] describe el posible comportamiento como “grupo”, considera que estas situaciones propician la existencia de influencias entre las personas presentes en el recinto y la personalidad de algunas de ellas puede conducir a determinadas actuaciones colectivas: Esperar, iniciar la evacuación, seleccionar salidas, etc... Mediante investigaciones similares, McLennan [109] probó que las personas **demoran** las actuaciones al percibir una señal de peligro y concretamente en investigaciones realizadas en centros residenciales establece cuatro niveles de actuación. El primer estadio se produce cuando las personas responden creyendo que puede haber un incidente pero que realmente no es cierto, en tales circunstancias la reacción que debe esperarse es que los ocupantes soliciten más información. En el segundo estadio cuando se actúa simplemente creyendo que probablemente haya fuego existirá una mayor motivación pero existen otras actuaciones dispersas difíciles de pronosticar: Aviso a servicios de emergencia, activar sistemas de alarma, etc... y posiblemente no exista la rapidez y motivación que requiere dicha situación. Un tercer estadio se produce cuando los ocupantes responden con la certeza de que hay fuego, ven humo y piensan que el fuego puede ser peligroso, en este caso las actuaciones se dividen entre los que inician la evacuación y los que utilizan medios de extinción, luchan contra el siniestro y ayudan a todo el colectivo. Y finalmente cuando las actuaciones se inician a partir de ver las llamas, entonces la preocupación está en que el grupo mantenga una relativa racionalidad, la actuación más probable consiste en una reacción inmediata a la situación de emergencia emprendiendo la evacuación de forma espontánea.

3.5.1 Efecto del sistema de alarma en la conducta de los ocupantes

El efecto del sistema de alarma en la conducta de los ocupantes ha sido estudiado por Ramchandani [157]. El propósito del sistema de alarma es el de indicar a los ocupantes que deben abandonar el recinto o el edificio lo más rápidamente posible, la información que se desprende de la alarma depende del tipo de señal utilizado y la interpretación que efectúen de la misma los ocupantes. La **efectividad** del sistema de alarma es esencial para materializar con éxito una evacuación de emergencia, dicha efectividad no tan solo reduce el tiempo de reacción de los ocupantes sino que además debe ser el punto de partida de la cadena de actuaciones previstas para asegurar y facilitar la evacuación. Las principales características del sistema de alarma son la **claridad** y la **credibilidad**.

La claridad de un sistema de alarma se refiere a la información que el sistema transmite a los ocupantes, si es capaz de comunicar claramente que ha ocurrido un incidente y que es necesaria la evacuación del edificio. La utilización de sistemas de megafonía puede resultar más útil que una simple señal de alarma acústica o bien óptica. Sin embargo, la dificultad de la utilización de los sistemas de megafonía reside en la extraordinaria

complicación de transmitir los mensajes adecuados. A la claridad de la propia señal de alarma debe añadirse la **correcta interpretación**. Fácilmente puede ocurrir en los sistemas de alarmas que su localización y potencia sonora no sean las más adecuadas, se debe garantizar que todos los ocupantes del edificio van a oír la señal de alarma y que efectuarán una interpretación correcta de la misma, que reaccionarán de forma inmediata, no subestimando ni ignorando el mensaje. Existen estudios sobre las características más apropiadas de este sistema, de todos ellos destaca el trabajo de D. Bruck [7] analizado en el apartado 2.7.6.

La credibilidad del sistema de alarma básicamente depende de la frecuencia con que se hayan producido falsas alarmas, la frecuencia de los fallos afecta significativamente la forma de responder de los ocupantes a una señal de alarma, en un recinto en el que a menudo se producen falsas alarmas el sistema **pierde su credibilidad** y una señal de alarma tiene muchas posibilidades de ser desestimada. Finalmente la efectividad del sistema también puede decirse que está relacionada con la **formación y la información** que han recibido los ocupantes.

3.5.2 Efecto del sistema de señalización

La importancia de los sistemas de señalización está en **reducir el retraso** que puede producir el hecho que los ocupantes deban buscar la salida, y en general la vía de evacuación que les conduzca a un área segura. Este proceso es especialmente importante en edificios que dispongan de una configuración irregular y los ocupantes no estén absolutamente familiarizados con el mismo.

Cuanto mayor sea el número de ocupantes de un determinado recinto involucrados en una evacuación de emergencia, se dice que resulta menos determinante la señalización, es más probable que alguien conozca la ruta correcta y el grupo se dirija a dicha salida, sin embargo las confusiones y los errores pueden tener consecuencias mucho más graves. El sistema de señalización debe tener la capacidad de guiar las personas hacia las salidas de forma simple e inmediata. La funcionalidad del sistema de señalización no se limita a las condiciones normales de utilización, además debe mantener su capacidad en condiciones de iluminación deficiente como es el caso de oscuridad natural o bien la producida por la existencia de humo. En edificios de pública concurrencia ocupados por gran número de personas, los sistemas de señalización deben constituir un sistema absolutamente **complementario** a cualquier otra información que pudiera suministrarse a los ocupantes durante el proceso de la evacuación del mismo.

En los modelos analíticos utilizados en el estudio del problema, las características del sistema de señalización se deben contemplar en el modelo como un elemento que produce **demoras al inicio** del proceso o bien en **puntos intermedios** de las vías de evacuación. Es preciso estimar el tiempo que se tarda en seleccionar un recorrido o bien utilizar una salida, en muchos casos es una cuestión difícil de pronosticar y de evaluar.

3.5.3 Influencia del tipo de edificio

El tipo de edificio en el cual se produce el incidente es realmente un factor significativo. Sin tener en cuenta las condiciones del edificio, que obviamente son distintas, no es lo mismo que un incidente se produzca en un centro residencial, en un edificio de oficinas, en una fábrica, en un cine, en un centro escolar, en un recinto deportivo o en una discoteca. Se afirma que la situación es distinta fundamentalmente por las actuaciones que se generan y las relaciones que existen o bien se establecen entre los individuos afectados por el incidente. En edificios de viviendas, centros escolares o en edificios industriales existe una determinada estructura social y organizativa. Mientras que, en otros casos como en recintos deportivos o de espectáculos esta estructura organizativa no existe o es muy ambigua, entonces al tratar de estudiar evacuaciones de emergencia deberían pronosticarse estas posibles situaciones para identificar si las actuaciones serán individuales o existirán grupos de actuación.

Para definir este patrón de actuación que confieren las características del edificio, S. Gwine [61] establece dos tipos de organizaciones: **entornos familiares y entornos públicos**. En un entorno familiar debe pensarse en actuaciones de grupo difícilmente controlados por otras jerarquías organizativas y desplazamientos más lentos a causa de esta actuación en grupo, mientras que en un entorno público hay que pensar en individuos supeditados o no a una organización formal, en estos casos cuando existen procedimientos de evacuación escritos e implantados son éstos los que determinan una estructura formal para la actuación en situaciones de emergencia.

También se ha observado en simulacros de evacuación que la posición de una persona en la estructura social, la edad, y posiblemente la relevancia personal, influirán en determinadas actuaciones individuales, de tal forma que no debe sorprender si se mantiene un determinado rol en el proceso de la evacuación del edificio. Debido a esta formalidad en la evacuación de determinado tipo de edificios, de forma espontánea pueden otorgarse **preferencias de paso** en una confluencia o bien en una retención **aumentar separaciones** entre individuos o actuaciones similares de respeto o bien aversión a la proximidad de determinadas personas.

Otro aspecto destacado es el impacto emocional en un incidente en un entorno doméstico, el aprecio a los bienes propios produce determinadas actitudes: Movimientos de retroceso, intentos de apagar el fuego, rescate de objetos personales, etc... aspectos que necesariamente suponen una **demora en el inicio de la evacuación y obstaculizaciones en la circulación**. Sobre estas actuaciones existe información debidamente contrastada: J. L. Bryan [8] afirma que el 27,9 % de los ocupantes intentaban volver a entrar en el edificio para ayudar a combatir el incidente, retirar objetos personales y obtener información del desarrollo del incidente y P. G. Wood [213] afirma que las reentradas se producían en el 43 % de los casos.

3.5.4 Efecto de la familiaridad con el recinto y el sexo de los ocupantes en la

previsión de la conducta

La familiaridad con el recinto determina **actuaciones tipo** que deben comprenderse al formular procedimientos de evacuación. Las personas tienden a utilizar rutas conocidas por su propia experiencia, es muy poco probable que los ocupantes utilicen rutas desconocidas en una evacuación de emergencia. Este hecho se halla descrito en un estudio sobre el incendio del aeropuerto de Dusseldorf, esta actuación tuvo una influencia decisiva en el colapso de las salidas, mayoritariamente los ocupantes trataban de utilizar las puertas por las que habían entrado y no utilizaban salidas de emergencia o pasos alternativos. Reciente en Suecia, H. Frantzich [43] ha realizado experimentos en los cuales ha investigado la incidencia de abrir las puertas que dan acceso a las salidas de emergencia y concluye que cuando los ocupantes, en una evacuación de emergencia, hallan una puerta abierta para abandonar un recinto el porcentaje de utilización aumenta significativamente, en este estudio se propone la apertura de las puertas de las salidas de emergencia para propiciar su utilización en situaciones de crisis.

Otra consideración sobre la incidencia de la familiaridad de los ocupantes con el edificio, consiste en que en determinados edificios dicha familiaridad puede ser muy dispar, por ejemplo en centros comerciales los trabajadores del mismo tienen un conocimiento del edificio que puede ayudar a los clientes a seleccionar las salidas de forma más apropiada en una evacuación de emergencia, ello tan solo es posible si se establece la adecuada relación entre los ocupantes ocasionales y el personal del propio edificio.

Finalmente se debe considerar la influencia del **sexo de los ocupantes** conjuntamente con otros factores. En simulacros de evacuación en centros escolares se ha observado que las mujeres adoptan una actitud más disciplinada, sin embargo existe una mayor tendencia a formar grupos que los hombres y con ello se ralentizan los desplazamientos. Existen estudios que avalan la naturaleza de las acciones “tipo” que emprenden uno y otro sexo tras percibir una señal de alarma, estos estudios afirman que el porcentaje de hombres que emprenden actuaciones de acción es mayor, mientras que las actuaciones tomadas por las mujeres se orientan más a la seguridad y a la cooperación.

3.5.5 Comportamiento interactivo de los ocupantes

En la mayoría de casos un individuo no está aislado, interacciona con los otros miembros del grupo. La interacción entre los ocupantes puede ser **física**, así en los estudios de J. J. Fruins [45] se determina el espacio vital necesario para que los ocupantes manobren confortablemente en una muchedumbre o aglomeración. La existencia de este espacio es fundamental para que no existan conflictos ni se produzcan variaciones en la velocidad y en la dirección de la circulación. Esta interacción también puede ser social, de forma que se formen grupos que a su vez pueden propiciar actuaciones inapropiadas, G. Proulx [141] identificó este efecto en el estudio de la evacuación de edificios de apartamentos, resultando que el 62% de la población que había formado grupos en simulacros de la evacuación, resulta razonable este hecho al considerar apartamentos en

los cuales hay una estructura familiar que lógicamente se mantiene durante la evacuación tal como se ha analizado en apartados anteriores. Dentro de los trabajos de esta tesis en simulacros de evacuación se ha observado, fundamentalmente en la evacuación de edificios industriales y de centros escolares, la formación de grupos, en muchos casos rompiendo el propio grupo natural de actividad y formándose grupos por otras razones, posiblemente de amistad.

3.6 EXISTENCIA DE PROCEDIMIENTOS FORMALES

La existencia de procedimientos formales debe mejorar las condiciones de evacuación de cualquier edificio, de entrada deben servir para reducir los tiempos de reacción y demora, es de esperar que los ocupantes identifiquen la señal de alarma y reaccionen de forma inmediata a la misma. El manual de evacuación es un documento en el cual, a partir de las condiciones del edificio y las características de los ocupantes, se establecen estrategias de evacuación en función de la ocupación y de la contingencia que se haya producido. Puede constituir un documento independiente, sin embargo en muchos casos se integra en un documento más general denominado “Plan de emergencia” o “Manual de autoprotección”, prácticamente en todos los países avanzados existen directrices y normativas sobre su contenido, en España existe la orden de 29 de Noviembre de 1944 por la que se aprueba el “Manual de Autoprotección para el desarrollo del Plan de Emergencia contra Incendios y de Evacuación en Locales y Edificios” y la orden del Ministerio de Educación y Ciencia de 13 de Noviembre de 1984 “Evacuación de Centros Docentes de Educación General Básica, Bachillerato y Formación Profesional”, en otros casos existen documentos que sirven de guía, están editados por entidades aseguradoras como ITSEMAP y CEPREVEN. En el ámbito internacional también existen diversas guías de este tipo editadas por FACTORY MUTUAL, NATIONAL SAFETY COUNCIL entre otras.

En el plan de evacuación además de establecer las estrategias apropiadas para la evacuación del edificio, se define una estructura formal que debe coordinar una evacuación de emergencia y garantizar unas actuaciones básicas: Organización de las salidas, facilitar la utilización de salidas de emergencia, verificar que han abandonado el edificio la totalidad de los ocupantes, emprender acciones de rescate y evitar que se produzcan retornos a la zona siniestrada, realizar recuentos, etc.. De poco serviría un plan de evacuación si no fuera conocido por todos los ocupantes del edificio y no estuvieran especialmente formadas las personas que han de participar de más forma activa, para ello debe programarse la adecuada divulgación del plan y la formación de las personas implicadas. En edificios con ocupación transeúnte, no es posible este proceso de formación y de divulgación, en estos casos resulta esencial la información que se transmite a los ocupantes que acceden a los mismos, así se realiza en determinados centros públicos, centros hoteleros y en otros centros, donde es frecuente la entrega personalizada de folletos o la existencia de paneles informativos con indicaciones básicas para actuar correctamente en situaciones de emergencia.

3.7 PRINCIPIOS PARA DETERMINAR LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA DE LA EVACUACIÓN DE EDIFICIOS

Una vez se han identificado los factores significativos del sistema, se trata de proponer un modelo para la solución del problema. La evacuación de un edificio se contempla como un proceso, los ocupantes del edificio emprenden una secuencia de actividades desde el instante en que se produce la señal de alarma hasta que se hallan situados en una posición segura: Perciben una señal de alarma, abren puertas, seleccionan recorridos y circulan hasta los destinos respectivos. En este intervalo de tiempo en el edificio pueden desarrollarse una serie de acontecimientos físico-químicos o derivados de la propia actuación de los individuos que pueden interferir en la actuación de los ocupantes. Esta tesis se centra en los modelos matemáticos para el estudio de la evacuación de edificios, el proceso de evacuación objeto de estudio, puede verse afectado por estos otros procesos que no son objeto de estudio. Por ejemplo, en la actualidad existen modelos matemáticos para pronosticar el desarrollo de un incendio, o la expansión de un gas tóxico, interesa el análisis del efecto del incidente en los elementos del sistema de evacuación pero no la modelización en sí de estos fenómenos. De esta forma los peligros potenciales en el propio edificio o en un entorno inmediato determinarán la rapidez con que deba materializarse una evacuación de emergencia dando lugar a un aspecto importante del problema el **tiempo disponible**, considerado como el tiempo de que disponen los ocupantes desde el instante en que se produce el siniestro hasta situarse en una posición segura en el destino de evacuación.

La solución del problema se plantea en un ámbito determinista y empieza en el estudio de los **aspectos elementales**, estos aspectos se desarrollan en este capítulo, luego se aplican al estudio de la **evacuación del recinto** y posteriormente se utilizan para el estudio de la **evacuación del edificio**. Estas dos etapas de estudio se justifican por el hecho que en muchos casos, la primera fase de una situación de emergencia exige la evacuación del recinto en que se produce el siniestro, y el estudio del problema de la evacuación de un recinto en principio, parece una operación más simple que puede ayudar a solucionar el problema planteado para todo el edificio.

Las dependencias de un edificio se clasifican en dependencias origen de evacuación, de paso, destino de evacuación e irrelevantes. Constituyen un **origen de evacuación** las dependencias inicialmente ocupadas cuando se produce la señal de alarma, aquellas en las cuales se encuentran los ocupantes del edificio en el momento en que debe iniciarse la evacuación. **Dependencias de paso** son aquellas que utilizan los ocupantes para desplazarse hasta el destino, normalmente se trata de vestíbulos, pasillos, rampas o escaleras. **Destino de evacuación** es el lugar donde se dirigen las personas presentes en el edificio. Finalmente las dependencias **irrelevantes** son aquellas que no tienen ninguna incidencia en la evacuación: Dependencias no ocupadas, que en ningún caso son vías de evacuación y no serán destino de evacuación.

La forma de distribuirse las diferentes dependencias o recintos da lugar a vías de evacuación, confluencias y ramificaciones. Una **vía de evacuación** es un conjunto de recin-

tos de circulación situados de forma sucesiva que permite el desplazamiento de los ocupantes desde la posición que ocupan inicialmente hasta situarse en la salida, las **confluencias** se producen cuando los ocupantes de varios recintos de circulación coinciden en un mismo punto y siguen su desplazamiento a través de una única dependencia, mientras que las **ramificaciones** corresponden a una situación en la cual los ocupantes circulan por una única dependencia de circulación desde la cual es posible acceder a varias dependencias para seguir su recorrido.

3.7.1 Análisis de la ocupación y de la capacidad

Para estudiar el problema en primer lugar es necesario realizar un análisis de la **ocupación**, normalmente la ocupación de las dependencias origen de evacuación de un edificio no es uniforme, entonces se precisa conocer para cada recinto el número de personas y sus características personales cada instante, mediante $k_{j,i}$ se indica el número de personas presentes en la dependencia j durante el intervalo i , de la misma forma $k^*_{j,i}$ indica el número de personas que precisan atención especial. Esta información debe servir para identificar las condiciones de ocupación potencialmente más peligrosas.

DEPENDENCIA	Intervalos horarios										Observaciones	
	1	2		i		n						
A ₁												
B ₁												
Total planta 1												
A ₂												
B ₂												
Total planta 2												
A _N												
B _N												
Total planta n												
TOTAL EDIFICIO												

Tabla 3.1 Modelo de tabla para el registro de la ocupación

Una tabla como la 3.1 puede tener una gran utilidad, en situación vertical se sitúan las j dependencias de que consta el edificio y en horizontal los intervalos horarios i , en cada una de las casillas se detallan las magnitudes de ocupación $k_{j,i}$ y $k^*_{j,i}$ siendo necesario concretar las características de la discapacidad de estas personas. El intervalo i corresponde a una franja horaria, en general será un valor propio de cada edificio. En un edificio con una ocupación total idéntica, pueden producirse distribuciones que generan problemáticas diferentes. Para analizar los valores de la tabla e identificar las situaciones potencialmente más conflictivas pueden resultar útiles diagramas en los cuales se representa el número de ocupantes de cada planta y el total del edificio en cada uno de los

intervalos de tiempo considerados. En la figura 3.10 se muestra el ejemplo de una gráfica utilizada en el estudio de la ocupación de un edificio escolar de tres plantas, se representa la ocupación de cada planta y la ocupación total del edificio. Los intervalos horarios corresponden a los habituales de un centro escolar. Puede apreciarse la presencia de personas discapacitadas en el intervalo de 9 a 13 horas.

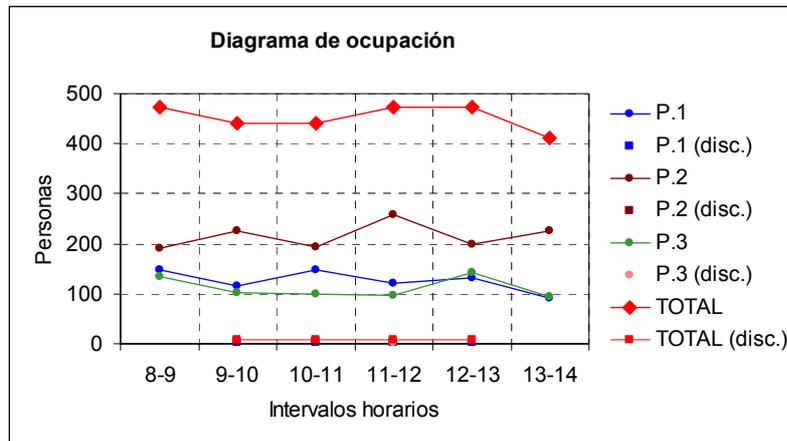


Figura 3.10 Ejemplo: Diagrama de ocupación de un recinto

Otro elemento fundamental para el análisis del problema es el estudio de las superficies. En general la **superficie** de una dependencia vendrá determinada por los cerramientos que determinan sus límites, tabiques, puertas u otros elementos inmobiliarios, esta magnitud tiene poca relevancia desde el punto de vista del problema de la evacuación, la magnitud realmente significativa es la **superficie útil**, definida por la superficie que queda libre a efectos de ocupación y de circulación de las personas. Es el valor de la superficie total, menos la superficie ocupada por los elementos mobiliarios depositados en la dependencia, en la mayoría de casos está será la magnitud que debe utilizarse como la superficie de un recinto. En otras situaciones resulta que parte de la superficie útil no se utiliza, en estos casos se habla de la **superficie efectiva**, entonces puede decirse que además de las condiciones físicas del recinto se considera este tipo de conducta de los ocupantes.

En las dependencias origen de evacuación, las de circulación y en los destinos de evacuación es necesario determinar su capacidad. La **capacidad de un recinto** es el número máximo de personas que pueden ocupar el mismo. La capacidad de un recinto se puede determinar mediante la expresión (3.3) si se conocen las características físicas de los individuos y es posible estimar la densidad de ocupación máxima d que se podría producir y la superficie efectiva del mismo a_e . La magnitud c corresponde al valor de la capacidad expresado como número de personas.

$$c = a_e d \quad (3.3)$$

Existen situaciones en las cuales no se conoce directamente la ocupación y debe efectuarse un pronóstico de la misma. En este caso la **ocupación de un recinto** es el número

de personas que se pronostica van a ocupar el mismo, para su evaluación además de conocer las dimensiones de los individuos y la superficie del recinto deben considerarse efectos de comportamiento, estimar las separaciones que se van establecer entre las personas determinando así las densidades de ocupación, el proceso de cálculo es el mismo que el seguido para determinar la capacidad.

ANÁLISIS RECINTOS							
Dependencia	Superficie		Ocupación		Capacidad		
	total	útil	inicial	módulo	NS.	módulo	
	m ²	m ²	Pers.	m ² /Pers.		m ² / Pers.	Pers.
Origen							
O1	200,00	182,00	27	6,74	A	1,21	151
O2	100,00	74,00	52	1,42	A	1,21	61
O3	12,00	128,00	42	3,05	A	1,21	106
O4	10,00	83,00	20	4,15	A	1,21	69
O5	10,00	85,00	51	1,67	A	1,21	70
O6	10,00	78,00	38	2,05	A	1,21	65
OCUPACIÓN TOTAL			230				
Circulación							
H1	12,00	10,00			E	0,23	43
H2	8,00	7,00			E	0,23	30
H3	12,00	10,00			E	0,23	43
H4	16,00	12,00			E	0,23	52
P1	40,00	30,00			E	0,23	130
P2	60,00	50,00			E	0,23	217
E1	30,00	24,00			E	0,23	104
E2	30,00	24,00			E	0,23	104
E3	30,00	24,00			E	0,23	104
CAPACIDAD TOTAL DE CIRCULACIÓN							827
Destino							
DS1	200,00	140,00			D	0,46	304
DS2	200,00	150,00			D	0,46	326
DS3	200,00	200,00			D	0,46	435
CAPACIDAD TOTAL DESTINO DE EVACUACIÓN							1065

Figura 3.11 Ejemplo: Aplicación para estimar las magnitudes características de un recinto

Para determinar la ocupación o la capacidad de un recinto, en vez de considerar la densidad de ocupación, es posible utilizar el módulo de ocupación m , resulta la expresión (3.4). Posiblemente el módulo de ocupación sea una magnitud menos intuitiva que la densidad de ocupación, sin embargo si se opera con magnitudes de densidad pequeñas, por ejemplo pies cuadrados, resulta favorable su utilización, en estos casos las densidades de ocupación son valores inferiores a la unidad y al operar con ellos fácilmente se incurre en errores numéricos y resulta más práctico operar con la magnitud del módulo de ocupación. Si la densidad de ocupación se expresa en personas por metro cuadrado y el módulo en metros cuadrados por persona, tan solo existe cierta ventaja en situaciones en las que se opera con densidades reducidas.

$$c = \frac{a_e}{m} \quad (3.4)$$

En la figura 3.11 se muestra una aplicación muy simple, puede observarse el cálculo de de ocupaciones y de capacidades de un edificio. A partir de las tablas de J. J. Fruins, cuando se conoce la ocupación de un recinto y su superficie se determina el nivel de servicio (A, B, C, D o E), luego considerando las densidades máximas que pueden producirse se estiman las capacidades, mientras que en las dependencias de circulación y en los destinos de evacuación si se conocen las superficies y se pronostica el nivel de servicio que se producirá en cada una de ellas se podrá determinar su capacidad.

3.7.2 Dependencias de circulación

Las dependencias de circulación son las que utilizan los ocupantes de los edificios para desplazarse desde las dependencias inicialmente ocupadas hasta los destinos de evacuación. Las personas se desplazan según una determinada **velocidad**, que depende de las características personales de los individuos, de la densidad de ocupación y de la existencia de efectos ambientales adversos, si se considera que la densidad de ocupación es una función del tiempo según un planteamiento transitorio del problema, la velocidad de circulación también lo será, dando lugar a (3.5) que expresa los valores instantáneos de la misma

$$v(t) \quad (3.5)$$

Directamente relacionado con la velocidad y la densidad existe la magnitud del **flujo** que determina capacidades de paso de las vías de circulación: número de personas por unidad de tiempo. La expresión (3.6) determina la relación instantánea que existe entre las tres magnitudes flujo, velocidad y densidad.

$$f(t) = d [v(t)] \quad (3.6)$$

Otra forma de ver el problema, consiste en estudiar las magnitudes de circulación directamente en función de la **separación** que se establecen entre las personas, definida como la distancia que existe entre el centro de una persona y la situada inmediatamente delante de ella, si se supone la misma distancia en sentido longitudinal que transversal la expresión (3.7) propuesta por Ando [2] relaciona ambas magnitudes.

$$e = \frac{1}{\sqrt{d}} \quad (3.7)$$

Normalmente las personas al circular por pasillos adoptan aquellas magnitudes que les resultan mas cómodas, ello supone que mantienen el espacio vital en el cual no sienten la interferencia de otras personas y les permite desplazarse sin entorpecimiento en su movimiento, esta densidad coincide aproximadamente con las condiciones de flujo máximo.

La circulación puede realizarse en las dependencias ocupadas a través de los espacios habilitados para la circulación o bien en las dependencias propiamente de circulación: pasillos, vestíbulos y escaleras. En unos casos el movimiento de las personas está perfectamente guiado no existiendo ninguna duda alguna sobre la longitud de los recorri-

dos que van a realizar los ocupantes y las anchuras mínimas de paso. Sin embargo en la circulación en espacios diáfanos puede resultar más difícil evaluar la verdadera longitud de los recorridos que se van a realizar, y normalmente conviene considerar valores superiores que los recorridos mínimos.

Otro aspecto absolutamente contrastado es el concepto de la **anchura efectiva** de las vías de evacuación desarrollado por J. Pauls [120] documentado en el capítulo anterior, según este concepto en la circulación de las personas por los pasillos existe un efecto de comportamiento por el cual las personas dejan una separación de 15 centímetros hasta las paredes o bien de 9 en los pasamanos en las escaleras, no dejan ninguna separación en los pasillos de las filas de los teatros y más de 45 en las paredes de grandes espacios, valores más detallados pueden observarse en la tabla 2.4.

Las magnitudes características de las vías de circulación son la **longitud máxima** de los recorridos l , las **anchuras mínimas** de paso w , en las que al considerar el comportamiento de los ocupantes da lugar al concepto de ancho efectivo resultando la magnitud de las **anchuras efectivas** w_e , se trata de magnitudes que dependen directamente de las características arquitectónicas del edificio.

Operar con los valores instantáneos de las velocidades $v(t)$ y de los flujos $f(t)$, resulta laborioso y normalmente se opera con valores medios. Las aproximaciones que se establecen con valores medios se refieren a intervalos concretos de tiempo. Mediante la expresión (3.8) se determina el **flujo** F que se registra en una vía de circulación, expresado en función del flujo específico medio f y del ancho efectivo w_e , o bien en función de la velocidad media v y de la densidad de ocupación d .

$$F = f w_e = v d w_e \quad (3.8)$$

La expresión (3.9) proporciona el **tiempo de recorrido** t_1 , el tiempo empleado en realizar un desplazamiento de longitud l si la velocidad media de circulación que se considera es v .

$$t_1 = \frac{l}{v} \quad (3.9)$$

De la misma forma la expresión (3.10) proporciona el **tiempo de paso** t_2 , el tiempo que se necesita para que k personas puedan cruzar una anchura mínima de paso de w , en la que se estima que se registra un flujo medio F

$$t_2 = \frac{k}{F} \quad (3.10)$$

Una forma útil de analizar las dependencias de circulación son los denominados gráficos $t-l$, es un tipo de gráfico utilizado por Predtechenskii y Milinskii, realizado a partir de las tasas de circulación y de flujo, se ha adaptado para operar con densidades de ocupación y da lugar a una representación gráfica como la de la figura 3.12, en ella en el eje de abscisas se sitúa el tiempo t y en el eje de ordenadas la longitud l de una dependencia de circulación, por ejemplo un pasillo. En la representación se observa el instante t_0 en el que se inicia la evacuación, si se desplazan a una velocidad media v alcanzan el final

de la dependencia en t_1 segundos, valor determinado utilizando (3.9). Si la circulación deben materializarla k personas, t_2 indica el instante en que han iniciado la evacuación todos los ocupantes, se determina mediante (3.10). Si los últimos ocupantes se desplazan a la misma velocidad que los que han iniciado la evacuación llegan al final de la dependencia de circulación en el instante t_3 .

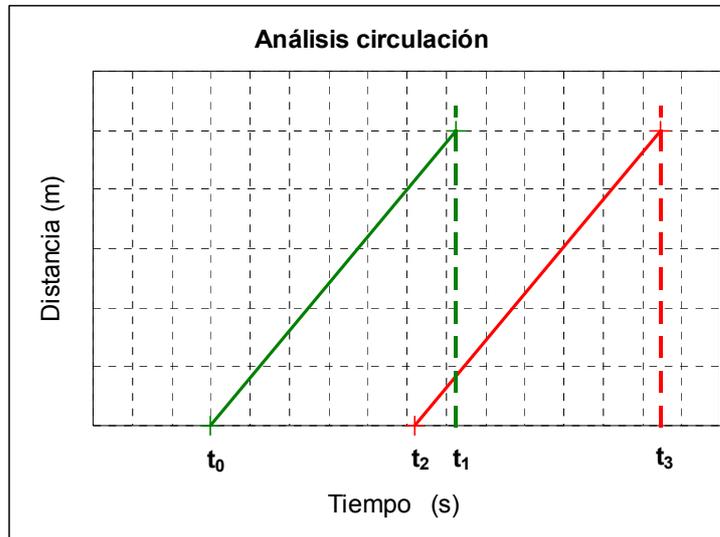


Figura 3.12 Análisis gráfico t-l de un recinto de circulación

De esta figura se deduce que el tiempo necesario para que k personas se desplacen por una dependencia de circulación de longitud l , si no se produce ninguna demora en el inicio de la evacuación, será igual al tiempo necesario para cruzar la anchura mínima del recorrido más el tiempo que emplea en el desplazamiento el último ocupante. Mientras que si se consideran demoras en el inicio de la evacuación resulta

$$z = t_3 = t_0 + \overline{t_0 t_2} + \overline{t_2 t_3} \quad (3.11)$$

En el gráfico anterior la pendiente de las rectas es la velocidad de desplazamiento de los ocupantes, puede observarse que se ha considerado la velocidad de circulación idéntica para las personas que inician la evacuación en t_0 y las últimas que acceden a la vía de circulación en el instante t_2 , ello da lugar a dos líneas paralelas. En las tablas de Fruins tanto en el desplazamiento en pasillos como en escaleras, para cada posible densidad de ocupación proporcionan los valores de las velocidades de circulación mínimas y máximas, entonces una forma de operar consiste en utilizar estas dos magnitudes, suponiendo que las personas que inician la evacuación realizan el desplazamiento a velocidad máxima y los que lo realizan en último lugar a velocidad mínima, es muy razonable si son posibles adelantamientos, ello genera una representación t-l en la cual las líneas de circulación de los k ocupantes no son paralelas y en este caso el tiempo t_3 será una magnitud que garantiza la evacuación de la totalidad de los ocupantes. En figura 3.13 se muestra una aplicación en la que puede observarse como se han determinado las capacidades de paso y los tiempos de recorrido en el estudio de la evacuación de un edificio de reducidas dimensiones.

ANÁLISIS CIRCULACIÓN ENTRE RECINTOS								
Recorrido origen / destino	Ancho (m)		Distancia (m)	NS	Flujo (Pers./m·min)	Veloc. (m/min)	Cap. paso (Pers./s)	Tiempo rec. (s)
	mínimo	efectivo						
O2 - H2	2,00	1,50	12,00	C	41,01	73,15	1,37	9,84
H2 - E2	2,00	1,50	12,00	D	57,42	65,53	1,91	10,99
E2 - DS2	2,00	1,50	10,00	D	57,42	65,53	1,91	9,16
O2 - P1	2,00	1,50	15,00	C	41,01	73,15	1,37	12,30
O1 - P1	2,00	1,50	12,00	D	57,42	65,53	1,91	10,99
P1 - H1	2,50	2,00	12,00	C	41,01	73,15	1,71	9,84
O6 - H4	2,50	2,00	12,00	C	41,01	73,15	1,71	9,84
O3 - H4	2,50	2,00	10,00	C	41,01	73,15	1,71	8,20
H4 - H1	2,50	2,00	10,00	C	41,01	73,15	1,71	8,20
H1 - E1	2,50	2,00	10,00	C	41,01	73,15	1,71	8,20
E1 - DS1	2,50	2,00	12,00	C	41,01	73,15	1,71	9,84
O4 - P2	2,50	2,00	15,00	C	41,01	73,15	1,71	12,30
P2 - H4	2,50	2,00	12,00	D	57,42	65,53	2,39	10,99
O5 - P2	2,00	1,50	12,00	C	41,01	73,15	1,37	9,84
P2 - H3	2,00	1,50	10,00	C	41,01	73,15	1,37	8,20
H3 - E3	2,50	2,00	10,00	C	41,01	73,15	1,71	8,20
E3 - DS3	2,00	1,50	10,00	D	57,42	65,53	1,91	9,16
-								
-								

Figura 3.13 Ejemplo: Aplicación para estimar las magnitudes características de la circulación

3.7.3 Modelado de vías de evacuación

Una **vía de evacuación** consiste en un conjunto de dependencias de circulación sucesivas por las que deben desplazarse los ocupantes, en la figura 3.14 puede observarse dicha estructura. La situación más desfavorable sería que los ocupantes se hallaran lo más alejados posible de la salida. La posición A sería el **origen de evacuación**, AB será el desplazamiento que realizan los ocupantes en la propia dependencia origen de evacuación, BC el recorrido de circulación horizontal en el pasillo, CD el de desplazamiento por la escalera, DE el recorrido horizontal por un vestíbulo de salida y finalmente EDS el recorrido hasta el destino de evacuación que supone la circulación por la escalera exterior. Efectuar el recorrido desde A hasta el destino DS, ha supuesto cruzar las puertas B, C, D y E que delimitan los recintos y presumiblemente determinan las anchuras mínimas de paso.

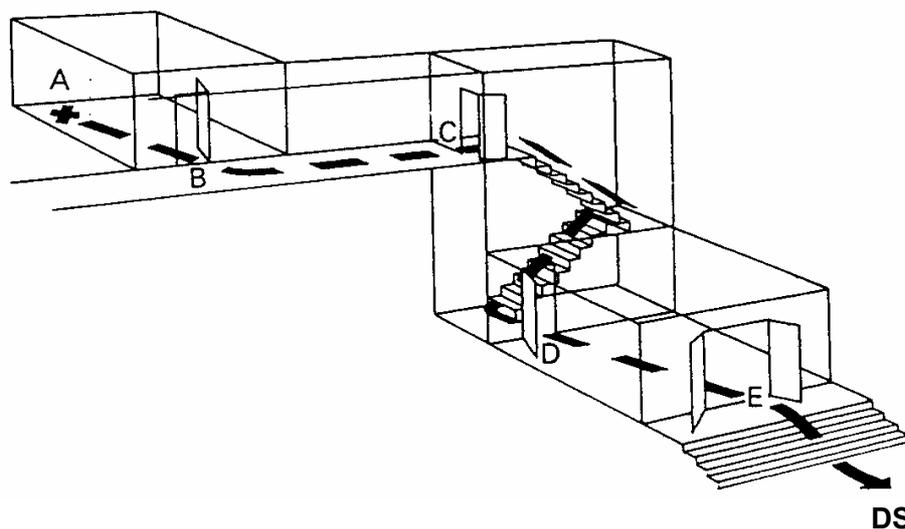
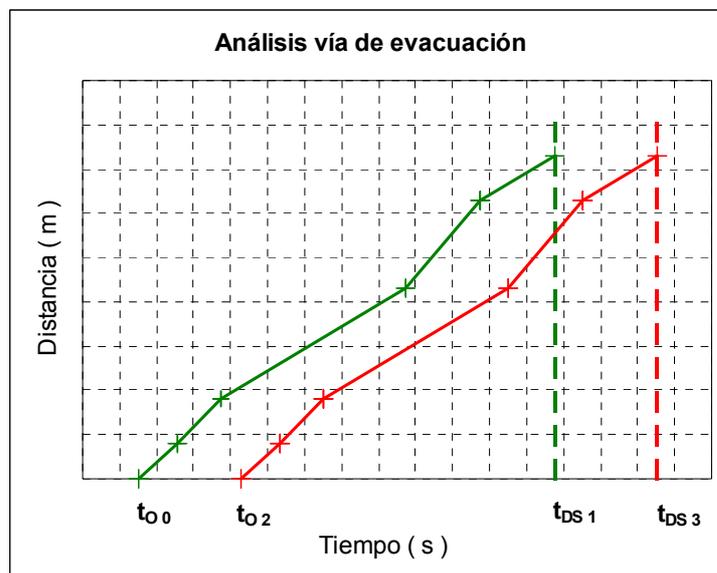


Figura 3.14 Análisis de los elementos de una vía de evacuación

Si se supone que la dependencia origen de evacuación está ocupada por k personas, realizan el recorrido AB a una velocidad v_{AB} , se produce flujo F_{AB} determinado por la anchura de la puerta B, este flujo se mantiene en la circulación horizontal BC. En el tramo CD de circulación por la escalera se reduce la velocidad, pero se supone que la anchura de la escalera permite mantener las condiciones de flujo fluido de tal forma que no se produzca ninguna retención, sin embargo si el flujo F_{CD} fuera menor que el F_{BC} existiría un grupo de personas en espera en C produciéndose la consiguiente retención. Aparentemente la circulación en el tramo horizontal F_{DE} supone un flujo mayor que en la escalera, finalmente la circulación en el exterior hasta el punto de destino de evacuación, por condiciones físicas de circulación, no debe suponer ningún tipo de retención.

**Figura 3.15** Análisis gráfico t-l de una vía de circulación

Los gráficos t-l también pueden utilizarse para estudiar la circulación en una vía de evacuación, resulta una figura como la 3.15, en este caso el gráfico representa la situación más simple posible, la circulación sin ninguna retención, t_{00} corresponde al instante en que inician la evacuación los ocupantes de la dependencia A, t_{02} el instante en el cual abandona la dependencia A el último ocupante, t_{DS1} el instante en que llega al destino el ocupante que ha iniciado la evacuación en primer lugar y t_{DS3} el instante en que llega al destino el ocupante que ha iniciado la evacuación en último lugar. Cuando existen retenciones, en la línea que representa la circulación de los últimos ocupantes existen tramos horizontales cuya magnitud corresponde a los tiempos de espera en las correspondientes posiciones intermedias en las que se produce la retención.

En la figura 3.15 se observa que el tiempo necesario para que k personas se desplacen por una vía de circulación será el que proporciona la expresión (3.13) que obtiene el **tiempo de recorrido** t_1 , consistente en la suma del tiempo empleado en realizar los desplazamientos en cada uno de los tramos de longitudes l_j si las velocidades medias de circulación se considera que son v_j .

$$t_1 = \sum_{\forall j} \frac{l_j}{v_j} \quad (3.13)$$

De la misma forma la expresión (3.14) proporciona el **tiempo de paso** t_2 , el tiempo que se necesita para que k personas puedan cruzar un punto en el que se registra el mínimo flujo en la vía de evacuación.

$$t_2 = \frac{k}{F} \quad F = \text{Min} \{ F_j \} \quad (3.14)$$

3.7.4 Modelado de confluencias simples

En los edificios existen ubicaciones en las cuales se produce la confluencia de la circulación de varias dependencias o bien la confluencia de varias vías de evacuación en una sola. Tras la confluencia, la circulación continúa formando un flujo único, en estos casos se habla de confluencias simples. Esta situación puede observarse en la figura 3.16, en ella se puede apreciar la confluencia de las vías de evacuación 1, 2 y 3 que continúan exclusivamente en la vía 4. En principio se considera que la mezcla entre las personas procedentes de las diferentes dependencias es fluida y no existen prioridades preestablecidas, sencillamente se produce la mezcla de flujos de entrada o de llegada y un solo flujo de salida. Mediante la expresión (3.15) se establece la condición de **continuidad de flujos** entre las entradas e y la salida s , sencillamente el número de personas que acceden a la confluencia y el que parte del punto de confluencia es idéntico.

$$F_s = \sum_{\forall j} F_{e_j} \quad (3.15)$$

Si se procede a expresar los flujos en función de los flujos específicos f_e y f_s y las anchuras efectivas de paso w_e y w_s , resulta la expresión (3.16)

$$f_s w_s = \sum_{\forall j} f_{e_j} w_{e_j} \quad (3.16)$$

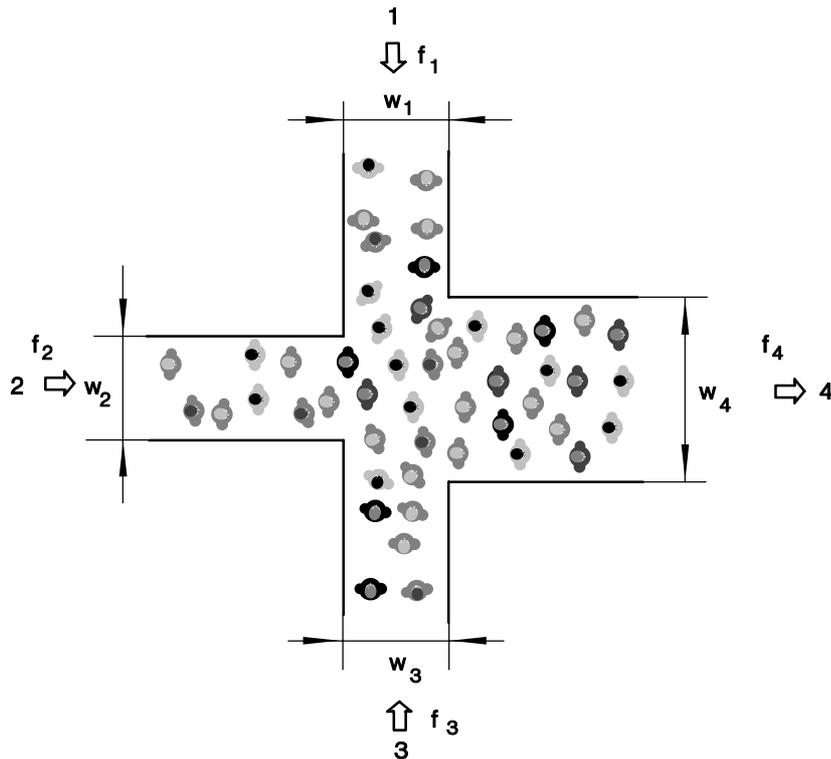


Figura 3.16 Confluencia de tres vías de evacuación

La expresión (3.16) permite determinar el flujo específico de salida f_s . Si resulta que la magnitud de dicho flujo específico de salida f_s es menor que el flujo máximo posible f_{MAX} , esta magnitud es válida, sin embargo si este valor supera el valor del máximo posible, realmente éste será físicamente imposible y el flujo que realmente se producirá será el valor correspondiente al flujo máximo, resultará la siguiente expresión

$$f_s = \begin{cases} \frac{\sum_{\forall j} f_{e_j} w_{e_j}}{w_s} & \text{si } f_s \leq f_{MAX} \\ f_{MAX} & \text{si } f_s > f_{MAX} \end{cases} \quad (3.17)$$

Si la suma de los flujos de llegada supera el valor del flujo máximo, habrá un número q de personas que permanecerán retenidas en la confluencia, la expresión (3.18) expresa esta situación según la cual el número de personas que acceden a la confluencia es igual al número que la abandona la misma más las que permanecen en retención aguardando para poder circular

$$\sum_{\forall j} f_e w_{e_j} = f_s w_s + q \quad (3.18)$$

De forma muy similar a la analizada hasta este momento, podrían estudiarse situaciones en las cuales existen varias vías de entrada y varias vías de salida, en estos casos normalmente se presenta la indeterminación de las distribuciones que dan lugar a los valores de los flujos que se producen en cada salida y debe operarse mediante suposiciones diversas en las densidades de las salidas.

Finalmente a modo de ejemplo, se plantea la resolución de la situación planteada en la figura 3.16, aplicando la expresión (3.15) para establecer la continuidad de flujos resulta que

$$F_4 = F_1 + F_2 + F_3$$

según (3.16), en función de flujos específicos y anchuras mínimas de paso se obtiene

$$f_4 w_4 = f_1 w_1 + f_2 w_2 + f_3 w_3$$

y finalmente a partir de (3.17) se determina el valor del flujo específico f_4 que se registrará en la salida 4

$$f_4 = \frac{f_1 w_1 + f_2 w_2 + f_3 w_3}{w_4}$$

Si f_4 cumple la condición de ser menor que el flujo máximo, f_4 será su valor, en el caso de superar el valor del flujo máximo, la magnitud correspondiente al flujo máximo sería el que se produciría en la salida produciéndose la consiguiente retención.

3.7.5 Modelado de ramificaciones

Cuando a los ocupantes de un edificio que circulan por una vía de evacuación, se les presenta una situación en la cual tienen la opción de escoger entre varias dependencias de circulación para continuar su recorrido se define como una ramificación. Esta situación puede observarse en la figura 3.17, los ocupantes circulan por la vía 1 y en un determinado instante pueden escoger seguir el recorrido por la vía 2 ó bien por la 3.

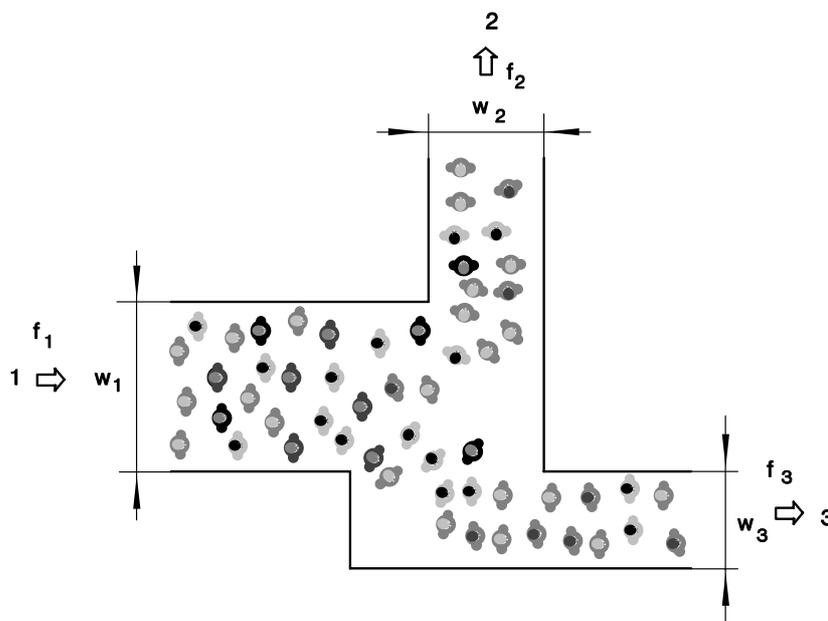


Figura 3.17 Ramificación en dos vías de evacuación

Las relaciones matemáticas que pueden establecerse guardan una cierta similitud con las

que se producen en las confluencias, en un principio si las dependencias de salida tienen capacidad suficiente, según (3.19) puede expresarse la condición de continuidad de flujos

$$\sum_{\forall j} F_{s,j} = F_e \quad (3.19)$$

Si se establecen los flujos F en función de los flujos específicos f_s y f_e y las anchuras efectivas de paso w_s y w_e , resulta la expresión (3.20)

$$\sum_{\forall j} f_{s,j} w_{s,j} = f_e w_e \quad (3.20)$$

La situación más simple que puede presentarse es aquella en la que la anchura de la salida de la ramificación es igual a la de entrada

$$\sum_{\forall j} w_{s,j} = w_e$$

en este caso puede pensarse que habrá continuidad en la magnitud de los flujos, en la expresión (3.21) así se indica.

$$f_{s,j} = f_e \quad \forall j \quad (3.21)$$

En las ramificaciones pueden presentarse situaciones más complejas que en las confluencias, e incluso indeterminadas en las cuales se deba optar por pronosticar la magnitud de los flujos que se van a producir en la ramificación y luego verificar si la solución adoptada se puede considerar aceptable. Una de estas situaciones se produce cuando físicamente no es posible establecer la continuidad de flujos, pero la anchura de los ramales de salida es superior a la del ramal de entrada. Cuando la anchura total de los ramales de salida sea inferior a la del ramal de entrada, en los ramales de salida se producirá un flujo mayor del que existe en el ramal de entrada, si se alcanza la condición de máximo flujo se producirán retenciones.

De la misma forma que en el caso anterior, se procede a analizar la situación presentada en la figura 3.17 según la expresión (3.19) resulta

$$F_1 = F_2 + F_3$$

al expresar los flujos en función de los flujos específicos y de las anchuras efectivas de paso según (3.20) tenemos

$$f_1 w_1 = f_2 w_2 + f_3 w_3$$

de forma que si las anchuras son razonablemente amplias, cumpliéndose

$$w_1 = w_2 + w_3$$

y las densidades de ocupación similares en cada una de las salidas, finalmente es posible establecer que la magnitud de los flujos específicos de salida de la ramificación es igual a la magnitud del flujo específico de entrada

$$f_2 = f_3 = f_1$$

Asociado a las ramificaciones a menudo se presentan efectos de comportamiento, en un principio se supone que las personas escogen una salida sin ningún tipo de demora, dirigiéndose a una o bien a otra de forma absolutamente automática, sin embargo, por ejemplo en condiciones de señalización deficiente, pueden producirse demoras que a su vez suponen una acumulación de personas en el punto de la ramificación provocando una retención. Mediante la expresión (3.22) se indica que una parte del flujo de entrada se reproduce en la salida con una demora δ , la proporción de flujo que se demora se expresa por la función Φ .

$$f_1(t) = \Phi[f_2(t+\delta)] \quad (3.22)$$

Asociado a la selección de las salidas existe otros efectos significativos: La preferencia a utilizar las salidas habituales y desestimar la utilización de salidas poco conocidas, utilizar salidas de emergencia abiertas, o no utilizar determinadas salidas por cualquier otro modelo de comportamiento.

3.7.6 Modelado de retenciones

Cuando en una dependencia de circulación o bien en una vía de evacuación el número de personas que llegan a una determinada posición es mayor que el que la abandonan se produce una retención, normalmente se debe a la disminución de la anchura de los elementos de paso, da lugar a una situación como la representada en la figura 3.18. Al existir un estrechamiento en un pasillo, si el flujo específico que se debería producir en la salida es superior al valor del flujo máximo, se presenta una retención. Las retenciones también se producen cuando los ocupantes van a acceder a una determinada dependencia, que ya ha alcanzado su capacidad máxima y no es posible la incorporación de nuevos ocupantes a la misma.

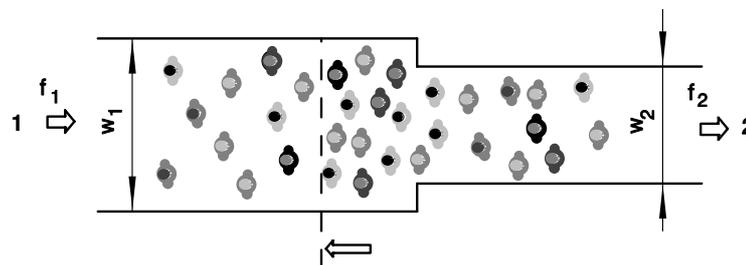


Figura 3.18 Proceso de formación de retenciones

Sea F_e el flujo de llegada y F_s el flujo de salida en una determinada ubicación de una vía de circulación. En general la diferencia de flujos, es función de los flujos específicos y de las anchuras mínimas de paso, entonces resulta la acumulación instantánea q , expresada como el número de personas que incrementan la ocupación de la posición en que se produce la retención en cada unidad de tiempo, este valor lo proporciona la expresión (3.23), sencillamente resulta:

$$q = F_e - F_s = f_e w_e - f_s w_s \quad (3.23)$$

En estas condiciones de flujo constante, la expresión (3.24) establece el número total de personas en la retención en el instante t suponiendo que se ha iniciado en el instante t_1

$$Q(t) = q (t - t_1) = (f_e w_e - f_s w_s) (t - t_1) \quad (3.24)$$

En un planteamiento general de la situación, la acumulación de personas se expresará en función del tiempo, siendo $q(t)$ la acumulación instantánea obtenida a partir del valor de los flujos instantáneos $f_e(t)$ y $f_s(t)$, resulta la expresión (3.25) que permite determinar el número total de personas en la retención Q en el instante t si la retención se ha iniciado en el instante t_1

$$Q(t) = \int_{t_1}^t q(t) dt = \int_{t_1}^t (f_e(t) w_e - f_s(t) w_s) dt \quad (3.25)$$

Mediante consideraciones geométricas simples puede determinarse la superficie ocupada por las personas que están afectadas por la retención, en cuyo caso la expresión (3.26) indica la superficie a^* expresada en metros cuadrados ocupada por la retención si la densidad de ocupación que se produce en la misma en el instante t es de d personas por metro cuadrado.

$$a^* = \frac{Q}{d} \quad (3.26)$$

También resulta inmediato conocer la longitud de la retención l_q en el instante t si se supone que la anchura del recinto es w_e , la expresión (3.27) proporciona dicha magnitud.

$$l_q = \frac{a^*}{w_e} = \frac{Q}{d w_e} \quad (3.27)$$

También puede determinarse la velocidad de desplazamiento de la retención v_q mediante la expresión (3.28) en función de la densidad d y de la anchura w_e del recinto de entrada

$$v_q = \frac{F_e - F_s}{d w_e} \quad (3.28)$$

3.7.7 Tiempo necesario para abandonar un recinto

Una forma simple de comprender el tiempo que les supone a un determinado número de ocupantes la evacuación de un recinto que dispone de una única salida, según puede observarse en la figura 3.19, consiste en suponer detrás de ellos un duende que pone en marcha un cronómetro en el momento de producirse la señal de alarma, se sitúa detrás del último ocupante, efectúa el recorrido hasta la salida y justamente en el momento de

cruzar la salida del edificio para el cronómetro. Sencillamente se trata de identificar los tiempos que ha contabilizado. Para que un determinado número de personas abandone un recinto utilizando la salida j se identifican tres fases o etapas, el tiempo de demora en el inicio de la evacuación t_{0j} , el tiempo de circulación t_{1j} y tiempo de flujo t_{2j} . Se trata del tiempo necesario para que k personas reaccionen a una señal de alarma, se desplacen hasta la salida y les sea posible de cruzar los estrechamientos que se produzcan en la vía de evacuación, resulta la expresión (3.29).

$$t_j(k) = t_{0j} + t_{1j} + t_{2j} \quad (3.29)$$

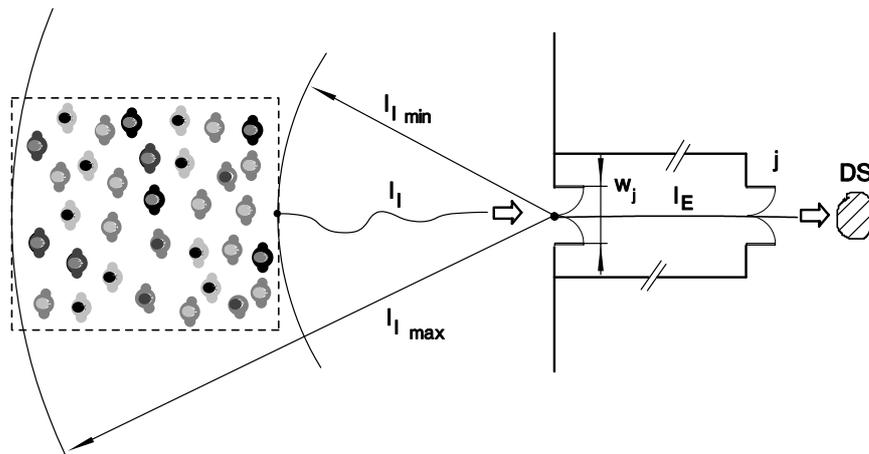


Figura 3.19 Obtención de la función de evacuación

El tiempo de demora t_{0j} según se ha analizado en apartados anteriores, obedece a múltiples efectos que realmente pueden pronosticarse después de un minucioso estudio del problema. El tiempo de circulación t_{1j} , consiste en el tiempo que se tardará en llegar a la salida j , puede determinarse mediante la expresión (3.9) en la cual se considera que existe un recorrido hasta el destino de longitud total l_j , en el cual se produce una densidad de ocupación d_j y a partir de la misma se estima la velocidad constante v_j de desplazamiento de los ocupantes que se dirigen hacia la salida. Si en la salida j , cuya anchura mínima es w_j , a partir del instante t_{1j} hay un flujo específico f_j , y la magnitud de dicho flujo se supone constante durante todo el tiempo que dura la evacuación, hasta el instante t_{1j} el flujo es nulo y a partir del mismo la magnitud del flujo F_j que se produce en la salida j lo proporciona la expresión (3.8). Entonces el tiempo de flujo t_{2j} , se obtiene utilizando la expresión (3.10), indica el tiempo que les supone abandonar el recinto a las k personas que utilizan la salida j debido a la capacidad de paso de la misma.

Si se supone que x_j es un número cualquiera de personas que se dirigen a la salida j , siendo $x_j \leq k$, permite generalizar la expresión anterior para un número cualquiera de ocupantes resultando la expresión (3.30) que recibe el nombre de función de evacuación $t_j(x_j)$ de la salida j .

$$t_j(x_j) = t_{0j} + t_{1j} + t_{2j} = t_{0j} + \frac{l_j}{v_j} + \frac{x_j}{F_j} \quad (3.30)$$

La representación gráfica de la función de evacuación en su forma más genérica adopta un aspecto como el de representación de la figura 3.20, en ella en el eje de abscisas se sitúa el número de ocupantes y en el de ordenadas el tiempo, normalmente expresado en segundos. Permite observar el tiempo de evacuación de un número cualquiera de ocupantes x_j . La ordenada en el origen, si existe corresponde al tiempo de demora y de recorrido y la pendiente el inverso del flujo.

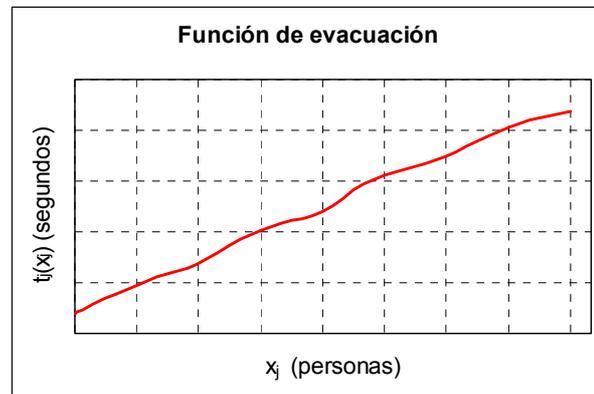


Figura 3.20 Forma genérica de la función de evacuación de una salida

3.7.8 Modelado de las incorporaciones a una salida

En la formulación realizada en el apartado anterior ha sido preciso estimar la magnitud de las velocidades y de los flujos de circulación que se van a producir en las salidas, ambas magnitudes se suponen constantes durante todo el tiempo que dura la evacuación, fácilmente puede observarse que ésta es una simplificación del problema. Una forma más precisa de operar consiste en analizar el número de personas $q_j(i)$ que pueden hallarse en disposición de abandonar el recinto por una determinada salida j en intervalos regulares de tiempo i , se observa que básicamente depende de las condiciones geométricas del recinto y de las interferencias que puedan producirse en el movimiento de los ocupantes, este proceso de análisis puede observarse en la figura 3.21.

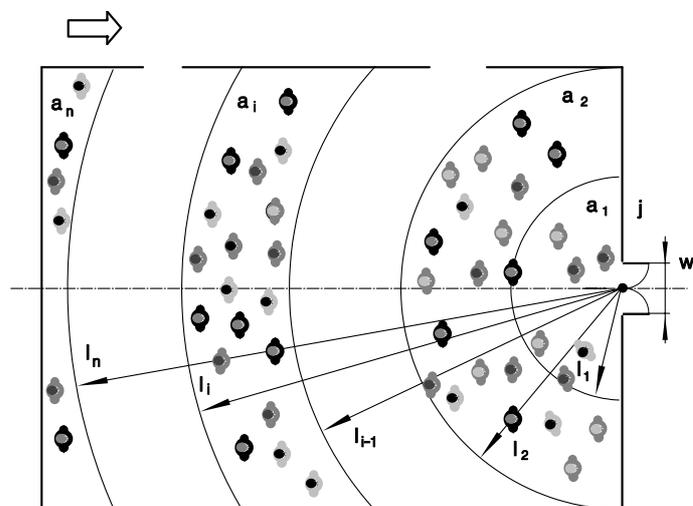


Figura 3.21 Modelado de las incorporaciones a la red

Si en el recinto existen k ocupantes y a es la superficie útil del mismo, mediante la expresión (3.31) se determina el valor de la densidad de ocupación inicial d .

$$d = \frac{k}{a} \quad (3.31)$$

A partir de la densidad de ocupación d se estima el valor de la velocidad de circulación v_j de los ocupantes del recinto que se dirigen hacia la salida j . Si se consideran intervalos regulares de tiempo de δ segundos, cuya magnitud normalmente es de 5, 10, 15 ó 30 segundos, $t(1) = \delta$ corresponde al final del primer intervalo, $t(2) = 2\delta$ el segundo y en general $t(i) = i\delta$ el final del intervalo i .

Durante el primer intervalo, comprendido entre los instantes 0 y $t(1)$ solamente podrán llegar a la salida las personas que se hallan situadas a una distancia menor que $l_j(1)$, en el segundo intervalo entre los instantes $t(1)$ y $t(2)$ las situadas a una distancia comprendida entre $l_j(1)$ y $l_j(2)$ y en general entre los instantes $t(i-1)$ y $t(i)$ las situadas a una distancia comprendida entre $l_j(i-1)$ y $l_j(i)$, la magnitud de dichas distancias según la expresión (3.32) será el producto de la velocidad de desplazamiento por el tiempo δ correspondiente

$$l_j(i) = v(i\delta) \quad (3.32)$$

A su vez las distancias $l_j(1)$, $l_j(2)$, . . . $l_j(n)$ definen las superficies $a_j(1)$, $a_j(2)$, . . . $a_j(n)$, ocupadas por las personas que podrían abandonar el recinto en los intervalos 1, 2, . . . i . Las superficies $a_j(1)$, $a_j(2)$, . . . $a_j(n)$ estarán ocupadas por las $q_j(i)$ personas que potencialmente pueden abandonar el recinto en el intervalo i utilizando la salida j . En la figura 3.22 puede observarse el proceso para la obtención de las superficies de evacuación de cada intervalo. En las condiciones geométricas del recinto representado en la figura 3.22, $a_j(1)$ corresponde a la superficie de un semicírculo, $a_j(2)$ la de una semicorona circular, mientras que desde $a_j(3)$ hasta $a_j(n)$ pueden aproximarse mediante trapecios circulares. Dichas superficies se obtienen resolviendo el correspondiente problema geométrico.

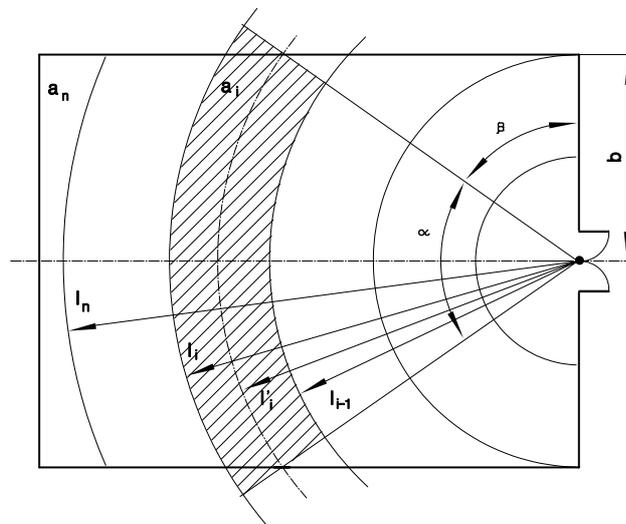


Figura 3.22 Cálculo de las superficies $a_j(i)$

La primera de ellas corresponde a la superficie de un semicírculo

$$a_j(1) = \frac{\pi}{2} [l_j^2(1)]$$

De la misma forma $a_j(2)$, corresponde a la superficie de la semicorona circular

$$a_j(2) = \frac{\pi}{2} [l_j^2(2) - l_j^2(1)]$$

El resto de recintos $a_j(i) \dots a_j(n-1)$ son superficies definidas por trapecios circulares cuya magnitud se determina a partir del valor del arco abrazado α , siendo β la mitad del valor del arco suplementario.

$$\beta = \arccos\left(\frac{2b}{l_i + l_{i-1}}\right)$$

$$\alpha = \pi - 2\beta$$

La magnitud de dichas superficies se obtiene mediante la siguiente expresión

$$a_j(i) = \frac{1}{2} \alpha [l_j^2(i) - l_j^2(i-1)]$$

Finalmente debe obtenerse la superficie $a_j(n)$, podría resolverse el correspondiente problema geométrico, sin embargo directamente por diferencias se aproxima el valor de dicha superficie.

$$a_j(n) = a - \sum_{i=1}^{n-1} a_j(i)$$

Una vez se han obtenido las superficies de los recintos resulta inmediato determinar la ocupación $q_j(i)$ de cada uno de ellos mediante la expresión (3.33)

$$q_j(i) = d a_j(i) \quad (3.33)$$

Finalmente debe verificarse que se han contabilizado la totalidad de los ocupantes

$$\sum_{vi} q_j(i) = k$$

Resulta de gran interés representar y analizar la función de carga de la salida, permite observar el número de personas que pueden estar en disposición de abandonar el recinto utilizando la salida j en cada uno de los i intervalos. Si la función de carga supera la capacidad de la salida inevitablemente se producirán retenciones, aumentará la densidad de ocupación en el punto de salida y aumentará el número de personas que tratan de abandonar el mismo.

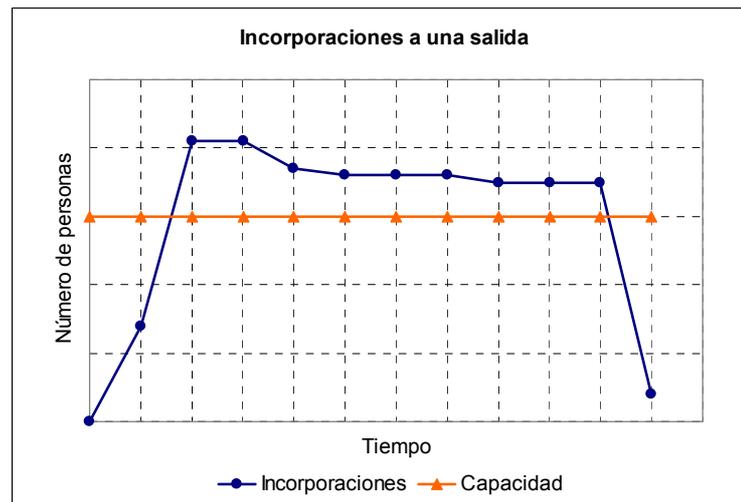


Figura 3.23 Representación de la función de carga de una salida

El flujo $F'_j(i)$ que podría producirse en la salida j en cada periodo i , es el que resulta de la expresión (3.34), no puede producirse un flujo mayor porque no se estima que en este intervalo de tiempo existan personas disponibles en la salida para abandonar el recinto.

$$F'_j(i) = \frac{q_j(i)}{\delta} \quad (3.34)$$

Además debe considerarse la capacidad c_j de la salida, si la anchura mínima de paso es w_j , y el flujo específico máximo que puede producirse en la misma es de f_{MAX} ambas magnitudes determina la capacidad de paso c_j según la expresión (3.35)

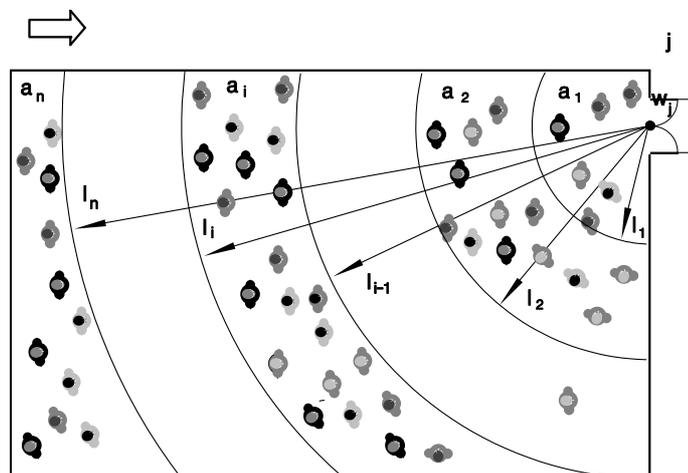


Figura 3.24 Efecto de la ubicación de las salidas en el modelado de las incorporaciones

$$c_j = f_{MAX j} w_j \quad (3.35)$$

Entonces el flujo $F'_j(i)$ que se podría producir en función de las llegadas a la salida y de la capacidad $c_j(i)$ de a salida j permite pronosticar el flujo que se producirá en la salida mediante (3.36). Si las llegadas son superiores a la capacidad de paso se van a producir retenciones en la salida.

$$\left. \begin{array}{l} F'_j(i) \geq c_j \Rightarrow F_j(i) = c_j \\ F'_j(i) < c_j \Rightarrow F_j(i) = F'_j(i) \end{array} \right\} \quad (3.36)$$

Debe insistirse en la importancia de las condiciones geométricas del recinto, por ejemplo en la figura 3.24, en la cual la salida del recinto se halla situada en una esquina del mismo puede observarse como la función $q_j(i)$ difiere de los valores obtenidos en la situación analizada en el caso anterior.

Otra situación característica de notable interés es la obtención de la función de carga de la salida de un pasillo que dispone de varias incorporaciones situadas a distintas distancias de la salida según puede observarse en la figura 3.25.

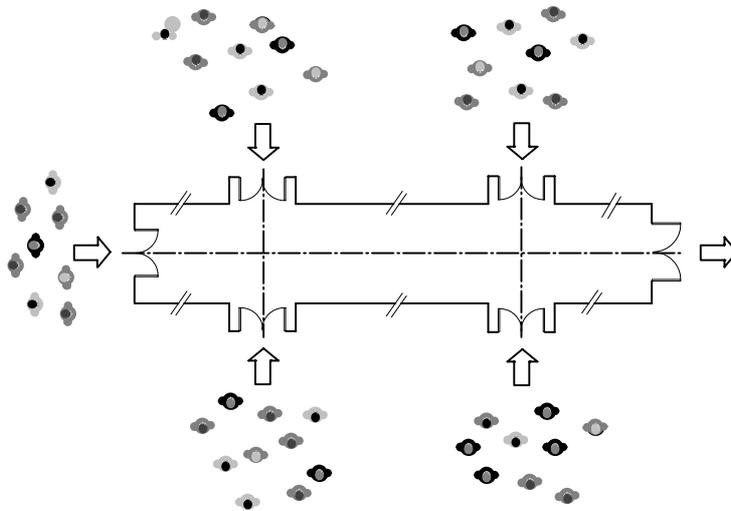


Figura 3.25 Modelado de las incorporaciones a la salida de un pasillo

En la figura 3.26 puede observarse el aspecto que adopta la función $q_j(i)$, se aprecia claramente los instantes en los cuales se producen las llegadas a la salida, en la situación representada la ocupación es creciente.



Figura 3.26 Función de carga de una salida

3.7.9 Capacidad del destino de evacuación

El destino de evacuación debe ser un recinto o zona segura con capacidad suficiente para albergar la totalidad de los ocupantes del edificio, no tiene que ser necesariamente una superficie única, pueden ser varias superficies. La capacidad de un recinto es el **número máximo** de personas que pueden ocupar el mismo, si se dispone de una determinada superficie y se conoce la densidad máxima de ocupación que se va a producir puede determinarse muy fácilmente su capacidad mediante la expresión (3.3).

La otra vertiente de la situación es el problema inverso: Conocido el número de ocupantes del edificio se debe determinar la superficie que van a ocupar. En primer lugar se debe pronosticar el valor de la densidad de ocupación que se va a producir, según se ha analizado en apartados anteriores deben considerarse las dimensiones físicas de los individuos y aspectos de comportamiento que dan lugar a las separaciones que se establecerán entre ellos.

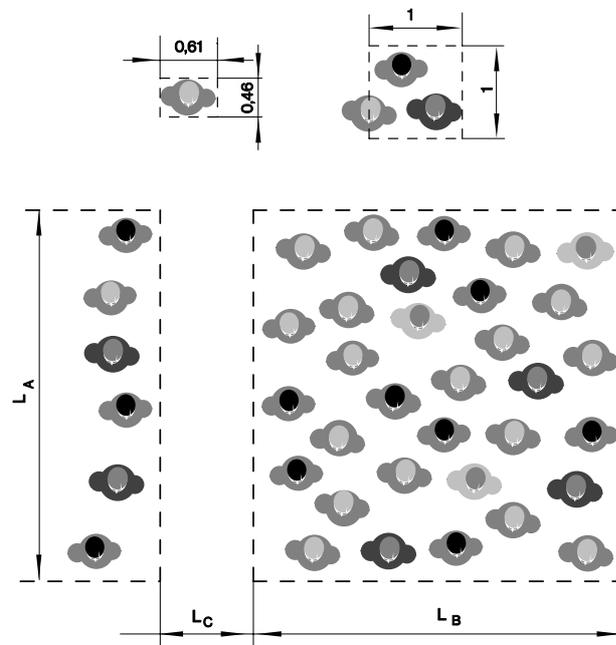


Figura 3.27 Organización destino evacuación

En la parte superior de la figura 3.27 se representan personas adultas cuyas dimensiones corresponden a las de la elipse estándar de $0,61 \times 0,46$ metros, y se supone como valor de referencia una densidad de ocupación de 2,5 personas por metro cuadrado. Si en un edificio ha sido posible organizar evacuaciones de emergencia es conveniente la situación en grupos para facilitar operaciones de recuento, entre cada grupo conviene establecer pequeñas separaciones de la forma que se ha representado en la figura 3.27, se supone que los individuos de un determinado grupo ocupan una superficie rectangular de $L_A \times L_B$ y entre cada grupo se establece una separación L_C .

Las aplicaciones realizadas para determinar la organización y la superficie ocupada por diferentes grupos resulta muy simple, en la figura 3.28 se muestra el ejemplo de una tabla utilizada en el estudio del punto de reunión de un edificio industrial, puede obser-

varse el número de ocupantes de cada sección de la fábrica, la superficie que precisa cada sección y una vez se ha establecido la anchura del rectángulo que van a ocupar, se determina longitud que ocupa cada sección, entre cada grupo o sección se establece una separación de 1 metro.

PUNTO DE REUNIÓN: Cálculo de la superficie requerida					
Ocupación	2,5	(Pers. / m ²)			
Ancho pasillo	5	(m)			
Separación grupos	1	(m)			
SECCIÓN	Número ocupantes	Sup.ocup. (m ²)	Long. Pas. (m)	Separación secciones (m)	Distancia origen (m)
Despachos					
Despachos y oficinas	28	11,20	2,24	1,00	3,24
Servicios generales					
Cocina	8	3,20	0,64	1,00	4,88
Servicios auxiliares	4	1,60	0,32	1,00	6,20
Taller producción					
Corte	12	4,80	0,96	1,00	8,16
Preparación A	15	6,00	1,20	1,00	10,36
Preparación B	26	10,40	2,08	1,00	13,44
Preparación C	32	12,80	2,56	1,00	17,00
Montaje 1	64	25,60	5,12	1,00	23,12
Montaje 2	73	29,20	5,84	1,00	29,96
Montaje 3	91	36,40	7,28	1,00	38,24
Montaje 4	82	32,80	6,56	1,00	45,80
Acabado 1	12	4,80	0,96	1,00	47,76
Acabado 2	16	6,40	1,28	1,00	50,04
Control producto	5	2,00	0,40	1,00	51,44
Mantenimiento	8	3,20	0,64	1,00	53,08
Logística					
Almacén	7	2,80	0,56	1,00	54,64
Auxiliares almacén	3	1,20	0,24	1,00	55,88
Despacho	2	0,80	0,16	1,00	57,04
TOTAL	488		39,04	18,00	57,04

Figura 3.28 Tabla en la que se muestra la distribución en el punto de reunión.

3.8 ELEMENTOS PARA EL ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL PROBLEMA DE LA EVACUACIÓN DE EDIFICIOS

Para establecer el formato de los resultados, en primer lugar se analiza la solución que aporta la simulación y herramientas como el programa EVACNET. La vistosidad y el realismo que consiguen las herramientas de simulación ha tratado de mostrarse en el capítulo anterior. Sin embargo, para un conocimiento profundo de las condiciones de evacuación a que están sometidos los ocupantes de un edificio se precisan unos valores numéricos y unas representaciones gráficas. El conocimiento de ciertas magnitudes analíticas o gráficas aporta más información que la simple observación del desarrollo de una evacuación. Si un espectador contempla una competición atlética, más allá de los aspectos plásticos o técnicos que seguramente sólo sea capaz de observar un experto, para valorar la competición son imprescindibles mediciones. En el problema de la evacuación de edificios sucede algo parecido, si se visualiza una simulación en primer lugar se debe tener una cierta garantía del realismo de la misma, pero además hace falta dis-

poner de valores cuantitativos de este proceso, la magnitud más inmediata que se debe medir es el tiempo de evacuación, si se producen retenciones no es suficiente observarlas se deben cuantificar y por lo menos globalmente se debe evaluar la eficacia del proceso mediante algún tipo de coeficiente.

3.8.1 Magnitudes básicas que caracterizan la evacuación de un edificio

Las magnitudes características del proceso de evacuación de un edificio son: el tiempo de evacuación, los ratios de la eficacia global del proceso, la magnitud de las retenciones, el valor de los flujos registrados, el rendimiento de las vías de evacuación y el número de personas que ocupan cada destino.

El **tiempo de evacuación** es sin ningún tipo de dudas la magnitud más inmediata que caracteriza este proceso, indica el tiempo en que un último ocupante abandona un recinto o un edificio y normalmente se expresa en segundos, el tiempo de evacuación debe referirse a cada una de las dependencias, a cada una de las plantas y a la totalidad del edificio. También existen otras posibles magnitudes como las denominadas estadísticas de la evacuación en las cuales se cuantifica el **tiempo medio empleado en la evacuación** y el **número medio de personas** que han salido en un periodo de tiempo determinado.

El **factor de congestión** según se define en la expresión (3.37) es la relación que existe entre el tiempo z que se tarda en la evacuación de un edificio, y el que resultaría si no se hubiera producido ninguna retención z^{\wedge} , o sea el tiempo de desplazamiento del ocupante situado en la posición más alejada del destino.

$$\phi_t = \frac{z}{z^{\wedge}} \quad (3.37)$$

Existen varias magnitudes que permiten evaluar las retenciones. Es preciso conocer los instantes inicial y final en que se produce la retención, además definen el **intervalo de retención**. Durante el intervalo de retención se producirá un **número máximo de personas en espera**, también es conveniente evaluar el **tiempo medio de espera** que les supone a los ocupantes una determinada retención y finalmente la **magnitud de la retención** que es una magnitud integra el tiempo total que les supone a los ocupantes la retención, se suele medir en periodos.

Otras magnitudes de interés son los valores de los flujos. El **flujo registrado** indica el número de personas que utilizan una determinada salida en cada instante, cuando se producen flujos variables conviene observar el valor de los flujos medios, y comparar los flujos instantáneos que se registran en una salida con los flujos máximos. Las vías de evacuación tienen una capacidad, definida a partir de los flujos máximos, entonces la relación entre el número de personas que las utilizan y las que podrían haberlas utilizado se llama **rendimiento de una vía de evacuación**, se define mediante la expresión (3.38)

$$\phi = \frac{p(z)}{p_{\max}(z)} \quad (3.38)$$

Finalmente cuando en un edificio existen varios posibles destinos de evacuación se debe conocer el número de personas que utilizan cada uno de ellos, se habla del **número de personas en los destinos de evacuación**. Si se establece la relación porcentual del número de personas que utilizan un destino con la capacidad del mismo se determina el **porcentaje de utilización**. De la misma forma, si la relación se establece entre las personas que utilizan un destino con el número total de personas evacuadas resulta el **porcentaje de la capacidad**.

RESUMEN RESULTADOS EVACUACIÓN							
OCUPACIÓN		Personas					
			Discap.				
Planta 4		120	0				
Planta 3		215	0				
Planta 2		176	0				
Planta 1		201	0				
Planta 0		106	0				
TOTAL EDIFICIO		818	0				
TIEMPOS EVACUACIÓN							
	calculados (s)	teóricos sin retención (s)	factor congestión %				
Planta 4	95	75	126,67				
Planta 3	135	65	207,69				
Planta 2	165	130	126,92				
Planta 1	210	80	262,50				
Planta 0	235	95	247,37				
EDIFICIO	235	130	180,77				
Estadísticas evacuación							
	tiempo medio (s)	desviación tipo	seg.				
	127		26				
Valor medio evacuación							
	Pers./ periodo						
	12,3						
RETENCIONES							
Ubicación		Periodo		intervalo		Máxima	Magnitud
Origen	Destino	inicio (s)	fin (s)	(s)	%	(Pers.)	(Pers.s)
A1	E1	25	95	70	29,79	34	234
B4	E2	45	110	65	27,66	18	136
E2	E3	35	70	35	14,89	45	156
A2	HL1	20	105	85	36,17	12	287
A1	HL3	45	90	45	19,15	56	76
DESTINOS EVACUACIÓN							
	Capacidad (Pers.)	Utilización (Pers.)	% utilización	% capacidad			
DS1	550	302	36,92	54,91			
DS2	600	156	19,07	26,00			
DS3	620	360	44,01	58,06			
TOTAL	1770	818		46,21			

Tabla 3.29 Ejemplo resumen de resultados de un problema de evacuación

En la figura 3.29 puede analizarse una tabla en la que se presenta el resumen de los resultados de un problema de la evacuación de un edificio de cuatro plantas, básicamente puede observarse como a partir de una determinada ocupación se obtienen tiempos de evacuación, se calculan ratios de eficacia, se identifican y cuantifican las retenciones y la ubicación de los ocupantes en el destino de evacuación. Globalmente estas magnitudes aportan un conocimiento global del problema y de las condiciones de evacuación a que se halla sujeto el edificio.

3.8.2 Herramientas gráficas para el análisis e interpretación de los resultados de los problemas de evacuación de edificios

La adecuada representación gráfica de ciertas magnitudes facilita su comprensión, mientras que en otros casos los gráficos se limitan a facilitar la interpretación de los resultados presentados en tablas. En el problema de la evacuación de edificios se utilizan: los diagramas de flujos, los diagramas de distribución óptima, el diagrama del perfil de la evacuación, el diagrama de ocupación, los diagramas de retenciones y el diagrama de utilización de las salidas.

Mediante el **diagrama de flujos** se representa el flujo que se registra en las entradas y las salidas de una determinada dependencia en cada instante. En la figura 3.30 se presenta un ejemplo muy simple, corresponde al análisis de flujos de una dependencia de circulación A. Se representan los flujos de entrada y de salida de dicha dependencia, a la cual acceden los ocupantes de una dependencia origen de evacuación O. Se representan los flujos de salida de O, que al cabo de cierto tiempo constituyen incorporaciones a la dependencia A, dicha dependencia alcanza su capacidad máxima formándose una retención en la entrada de la misma y a partir de este instante, condiciona los flujos de entrada. También pueden observarse las salidas de dicha dependencia A y las llegadas al destino DS. En el diagrama de flujos el área encerrada entre la función $f(t)$ y el eje de abscisas indica el número de personas que utilizan la salida, este valor en el caso de problemas continuos puede obtenerse integrando dicha función, en los problemas discretos se obtiene sumando los correspondientes valores y en determinados casos se obtiene simplemente multiplicando el intervalo correspondiente por el valor medio.

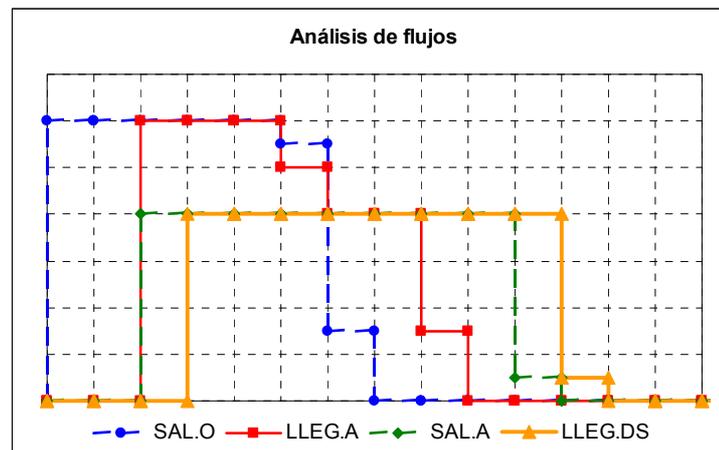


Figura 3.30 Representación del flujo registrado en una salida

Definir de forma analítica el número de personas que deben dirigirse hacia cada salida resulta ciertamente laborioso, la solución que se propone consiste en utilizar el **diagrama de distribución hacia las salidas**, en el cual se indica la situación y el número de ocupantes de cada sección del recinto, y la dirección que deben emprender hacia las salidas para cumplir determinados objetivos, normalmente conseguir una evacuación en el mínimo tiempo. La simplicidad de esta representación es evidente, puede observarse en la figura 3.31 donde se presenta la evacuación de un edificio de una sola planta que

dispone de 6 salidas y 5 secciones ocupadas, k indica el número de personas de cada sección, y x_j indica el número de personas que deben emprender cada recorrido; ello se representa mediante flechas que indican direcciones de circulación en las propias secciones y sobre los ejes de las vías de circulación.

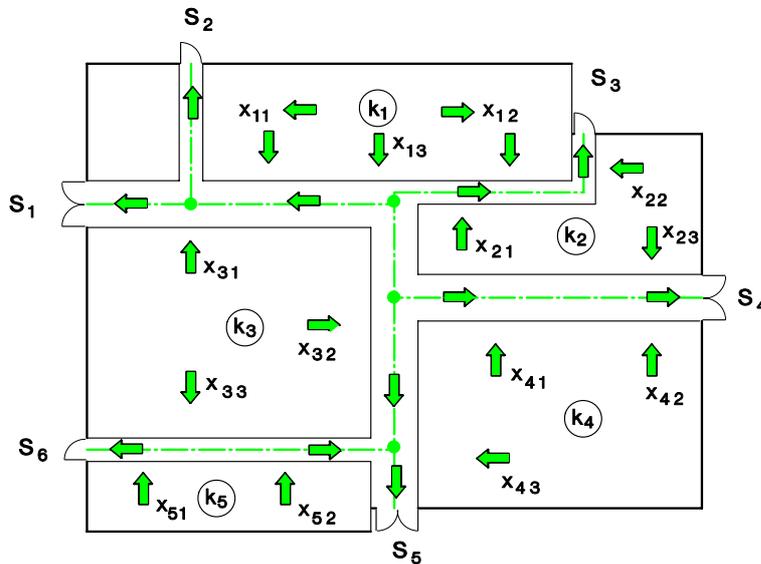


Figura 3.31 Ejemplo de diagrama plano de distribución hacia las salidas

De la misma forma que existe una solución clara para la representación sobre una planta de un edificio, ésta puede realizarse en un edificio de varias plantas, para ello se utiliza una representación en perspectiva del edificio semi-hueco sobre el que deben visualizarse los elementos que constituyen las vías de evacuación, de la misma forma que en una representación plana, se deben indicar de la forma más clara posible ocupaciones y direcciones de circulación.

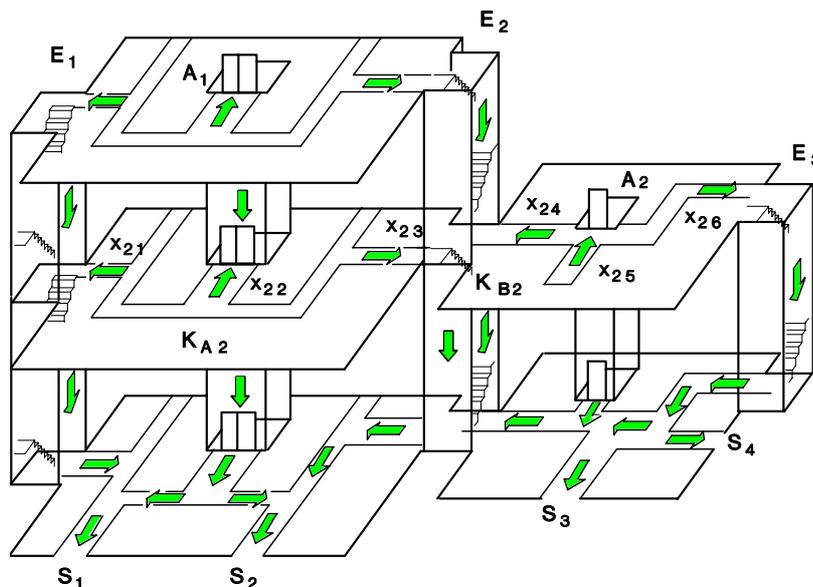


Figura 3.32 Ejemplo de diagrama tridimensional de distribución hacia las salidas

En la figura 3.32 puede observarse la distribución hacia las salidas en un edificio de varias plantas, corresponde al estudio de un edificio de dos volúmenes de tres y dos plan-

tas, que dispone de tres escaleras, como medios mecánicos dispone de una batería de ascensores y un ascensor simple y cuatro salidas desde la planta baja. De la misma forma que en el caso de la distribución en planta cada ocupación k da lugar a una distribución x_j hacia las salidas.

Finalmente respecto el diagrama de distribución hacia las salidas, en la figura 3.33 se muestra una aplicación correspondiente a la distribución óptima de los ocupantes de un recinto industrial. En esta aplicación los valores numéricos cursivos indican el número de personas que se dirigen hacia cada salida.

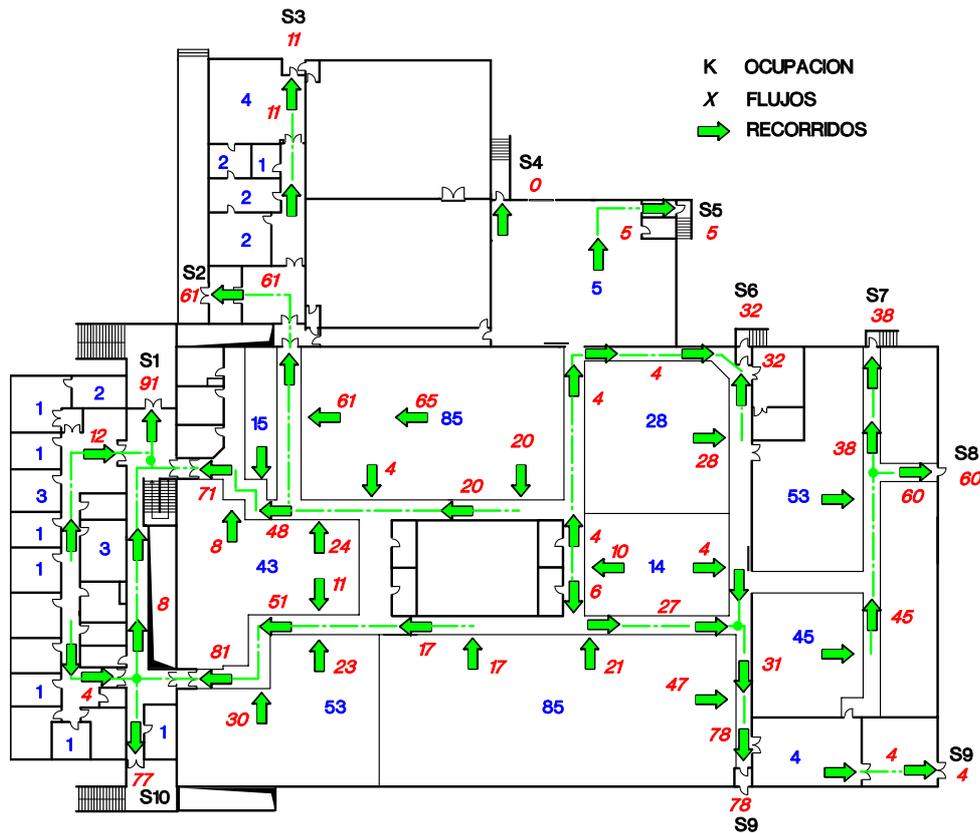


Figura 3.33 Aplicación del diagrama de distribución hacia las salidas

Para gestionar situaciones críticas, este tipo de diagramas pueden resultar una herramienta valiosa, especialmente si se dispone de medios capaces de situar en tiempo real ocupaciones, calcular evacuaciones y situar sobre la representación de la planta las distribuciones apropiadas.

La representación del **perfil de evacuación** consiste en la representación instantánea del número de personas que abandonan un recinto, cruzan una puerta o llegan a un destino de evacuación. Es una gráfica absolutamente complementaria a la anterior, en el diagrama de utilización de las salidas se conoce el número total de personas que deben dirigirse a cada salida pero se desconoce que sucede en cada instante, la información temporal puede facilitar esta representación. En la figura 3.34, se ha procedido a mostrar como ejemplo de perfil de evacuación, el correspondiente a la evacuación de un recinto que dispone de tres salidas S1, S2 y S3, puede observarse la representación conjunta del

número de personas que alcanzan cada una de ellas en cada instante. Este mismo diagrama puede utilizarse para representar el número total de personas que han abandonado, un edificio en este caso se llama **diagrama de evacuación total**.

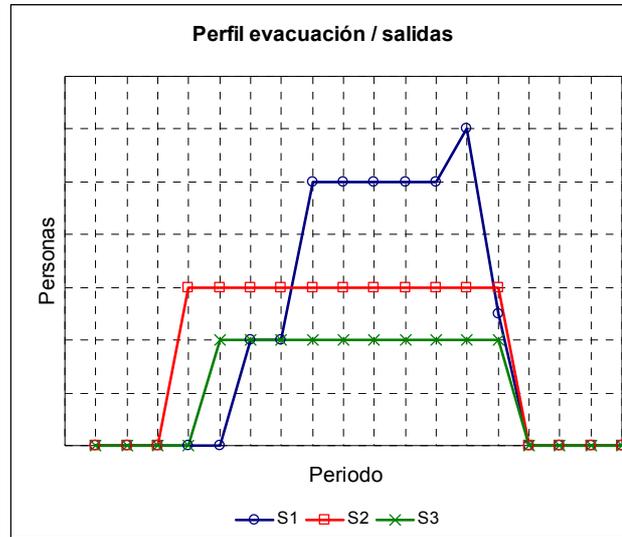


Figura 3.34 Perfil de evacuación de un recinto de tres salidas

El **diagrama del perfil de ocupación de una dependencia** indica el número de personas que ocupan la misma en cada instante, visualmente se observa la evolución de la ocupación y el tiempo necesario para su evacuación. Ciertamente, también es una herramienta importante para el estudio del problema.

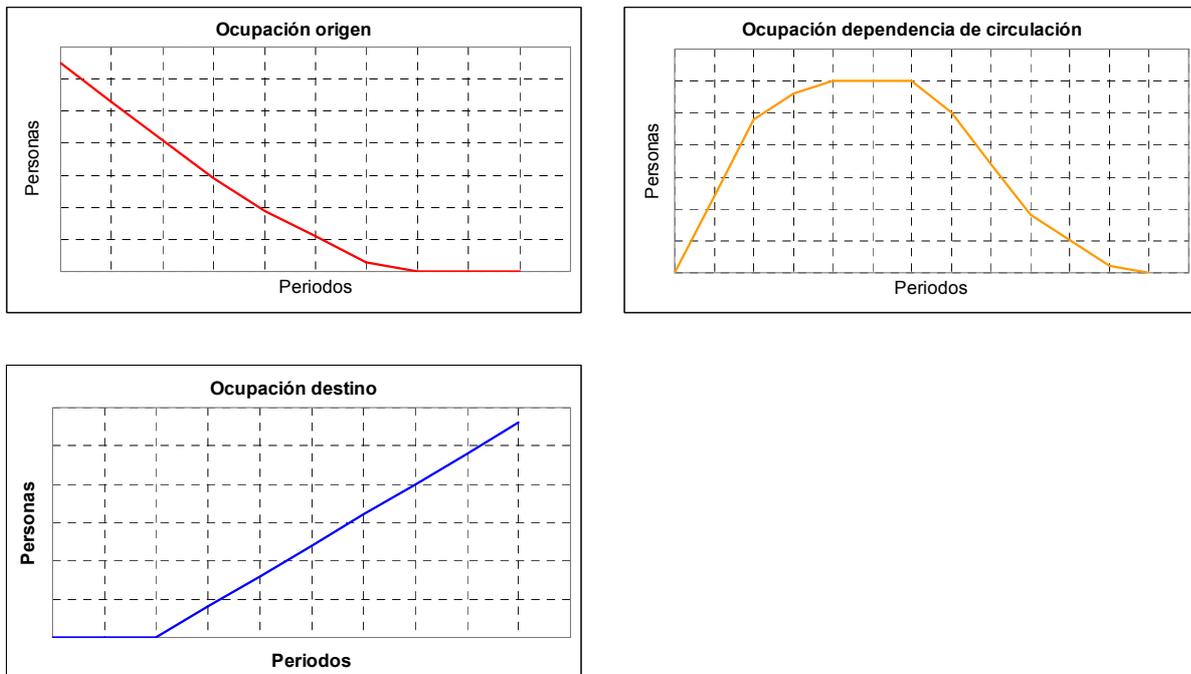


Figura 3.35 Ejemplos de perfiles de ocupación

La forma que adopta esta representación obviamente depende del tipo de dependencia,

en la figura 3.35 se ha representado el perfil de evacuación correspondiente a una dependencia origen de evacuación, una dependencia de circulación y un destino de evacuación. En la dependencia origen de evacuación se observa que el número de ocupantes decrece constantemente, en dependencias destino de evacuación la situación que resulta es absolutamente contrapuesta, el número de ocupantes debe crecer constantemente, mientras que en la dependencias de circulación el perfil de ocupación presenta tres etapas, la inicial en la cual la ocupación crece, un zona intermedia cuando la dependencia alcanza su capacidad de ocupación y necesariamente se mantiene constante, y cuando han entrado todos los ocupantes esta ocupación decrece de forma progresiva hasta haber desalojado completamente la dependencia.

El diagrama de utilización de las salidas trata de cuantificar la importancia de cada una de las salidas en el proceso de evacuación de un edificio, considerando exclusivamente como criterio de valoración el número de personas que las utilizan. Es posible contrastar la importancia de cada una de ellas mediante una representación de Pareto, en el cual deben efectuarse ciertas reflexiones. Con este diagrama se clasifican las salidas, pero no refleja que una salida utilizada exclusivamente una persona, porque no dispone de otra alternativa, esta salida es muy importante. Puede observarse el ejemplo de la figura 3.36, en el cual se observa que de las ocho salidas de que dispone el recinto, dos de ellas las utilizan más del 60% de los ocupantes, se trata de las salidas S1 y S7, de la misma forma puede analizarse que las salidas S1, S7, S9 y S16 las utilizan más del 90% de los ocupantes. Si las personas que utilizan las otras salidas S3, S8, S5 y S15 pueden utilizar las otras salidas en cualquier hipótesis de suceso, podría pensarse en una cierta trivialidad de las mismas, sin que suponga cuestionar en absoluto su existencia, seguramente necesaria por consideraciones de diseño arquitectónico o de seguridad.

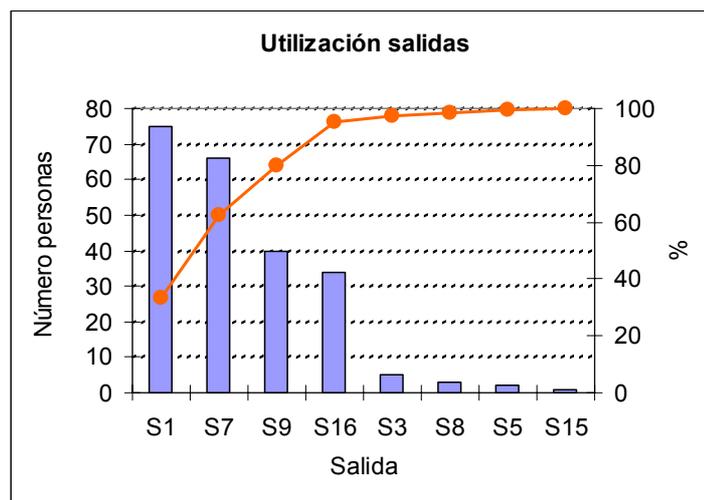


Figura 3.36 Ejemplo de diagrama de utilización de las salidas

