

Simulación del Desalojo de Edificios. Situación en España: E.T.S. Ingenieros Industriales (Universidad de Valladolid).

Angel M. Gento Municio¹, Julio López Rubio², Marta Posada Calvo³

¹ E.T.S.I. Industriales. Dpto. de Organización y Gestión de Empresas, gento@eis.uva.es

² Grupo Antolín, Burgos, julio.lopez@grupoantolin.com

³ E.T.S.I. Industriales. Dpto. de Organización y Gestión de Empresas, posada@eis.uva.es

RESUMEN

El desalojo de edificios, a pesar de la alta sensibilidad existente por parte de la opinión pública, no se encuentra suficientemente reglamentado, e incluso gran cantidad de edificios públicos incumplen la normativa existente en la actualidad, al haber sido construidos con anterioridad a la publicación de la misma y no haberse previsto una serie de plazos para su adaptación.

Se muestra una herramienta desarrollada para facilitar la simulación y el análisis de un edificio genérico, teniendo en cuenta las características constructivas del mismo y las recomendaciones de diferentes organismos nacionales e internacionales. Para mostrar la eficacia de la misma analizamos el edificio de la Escuela de Ingenieros Industriales de la Universidad de Valladolid.

Palabras clave: desalojo, evacuación, simulación.

1. Introducción

La importancia del desalojo de un edificio puede suponerse fácilmente, dadas las vidas humanas que pueden verse afectadas ante cualquier siniestro de cierta magnitud (incendio, terrorismo, etc.). En la actualidad, en la mayoría de los países (entre ellos España), no existe una normativa adecuada que posibilite un análisis detallado de las condiciones de desalojo de un edificio.

Para poder analizar varios escenarios proponemos utilizar la simulación. De este modo, y con el modelo del edificio ya definido, podremos considerar diferentes condiciones en los parámetros del desalojo: velocidades en los diferentes pasillos, pasos, escaleras, etc. E incluso analizar diferentes recorridos de evacuación dependiendo de las salidas disponibles.

Por último, conviene señalar la diferencia entre desalojo y evacuación, pues tanto uno como otro suelen emplearse como sinónimos y sin embargo no significan lo mismo.

Se entiende por desalojo de un edificio exclusivamente a la salida de todas las personas que se encuentran en el interior de un edificio, por los lugares especialmente habilitados para ello, o sea, salidas de habitaciones o cualquier otro tipo de recintos, escaleras ascendentes y descendentes, rampas, pasillos, etc.

En cuanto al termino “evacuación” hay que señalar que encierra una mayor complejidad. Con él se hace referencia no sólo al desalojo del edificio, sino también al cuidado y alojamiento que es necesario ofrecer a las personas que han sido desalojadas. Por tanto, el desalojo constituye solamente una parte de la evacuación.

2. Normativa a aplicar en España

Para abordar cualquier tipo de consideración sobre el desalojo de edificios, resulta obligado recurrir a la normativa vigente. En el caso español debemos referirnos a la “Norma Básica de la Edificación para Condiciones de Protección Contra Incendios en los Edificios (NBE CPI-96)”. Dentro de ella se contemplan algunos aspectos acerca de la evacuación de edificios.

Conviene aclarar que en la norma no se utiliza el término de desalojo, sino el de evacuación. Sin embargo, y considerando las definiciones de estos términos realizadas en el apartado anterior, se puede concluir que sólo hace referencia a aspectos constructivos o de diseño, o sea, relacionados con el desalojo.

2.1. Clasificación de los usos de un edificio

Según la normativa se pueden distinguir un total de siete usos: vivienda, hospitalario, administrativo, docente, residencial, garaje o aparcamiento y comercial.

2.2. Elementos de la evacuación

De nuevo, según la normativa (NBE CPI-96), se hace mención a los diferentes elementos de la evacuación:

- Origen de Evacuación.
- Recorridos de Evacuación.
- Altura de Evacuación.
- Rampas.
- Ascensores y Escaleras Mecánicas, Rampas y Pasillos Móviles.
- Salidas.

2.3. Cálculo de la ocupación

Éste es uno de los aspectos más importantes. Su aplicación es fundamental para poder realizar el desalojo del edificio a través del programa de simulación.

Con carácter general, se considerarán ocupadas simultáneamente todas las zonas o recintos de un edificio, salvo en aquellos casos en que la dependencia de usos entre ellos permita asegurar que su ocupación es alternativa.

Debido a que no es realista la hipótesis de una distribución uniforme de la ocupación, se contemplan valores correspondientes a densidad elevada aplicables a aquellos recintos, espacios diáfanos o zonas de escasa compartimentación, en las que es previsible una importante concentración de personas, y valores más bajos aplicables al resto de la superficie total construida de los edificios.

El cálculo de la ocupación debe efectuarse considerando la hipótesis de la máxima ocupación posible en cada zona, siempre que ésta sea compatible con el ejercicio de la actividad prevista, e incluso con alguna otra actividad probable u ocasional que pueda suponer mayor ocupación.

Por ejemplo: si se quiere determinar la ocupación para un aula de 147 m² que dispone de 100 pupitres. Basándose en la cifra que propone la norma, su ocupación debería de ser de 98 personas. Sin embargo, puesto que el aula dispone de 100 pupitres, la hipótesis de máxima ocupación posible obliga a adoptar como ocupación del aula esta última cifra.

Por lo tanto, en ningún caso y bajo ningún concepto, deben considerarse valores de ocupación nominales inferiores a los máximos posibles. Tampoco deben emplearse hipótesis que justifiquen ocupaciones inferiores merced a un determinado acondicionamiento interior o amueblado.

2.4. Parámetros de desplazamiento

La norma que ha sido citada en apartados anteriores (NBE CPI-96), no contempla nada a este respecto, ni existe ninguna otra en la que se haga referencia a estos parámetros. Tanto los responsables de Protección Civil como los del Servicio de Bomberos no contaban con ningún tipo de información que resultara de utilidad, aunque mostraron un gran interés en información sobre este tipo de datos.

La única documentación interesante fue facilitada por el ITSEMAP (unidad técnica de MAPFRE), pues ha elaborado una norma técnica¹ que contiene información relacionada con la evacuación de edificios.

A continuación resumimos los aspectos más destacables de la misma relativos al desplazamiento de personas.

Para dimensionar los medios de evacuación, en la mayoría de las ocasiones basta con utilizar un parámetro característico: el flujo unitario. Este parámetro indica el número de personas que pasan por segundo por cada metro de ancho (personas/m·s) de un determinado medio de evacuación: puerta o paso, pasillo, escalera o rampa.

Hasta hace pocos años, tanto el flujo unitario como la anchura requerida para un medio de evacuación se referían a una unidad modular o unidad de paso (U.D.P.), en la creencia de que el caudal de personas se ajustaba a “canales” definidos por la anchura de hombros de un individuo y que por tanto, la anchura de un medio de evacuación debería coincidir con un número entero de U.D.P. Una unidad de paso tiene la siguiente equivalencia: 1 U.D.P.=60 cm.

Investigaciones y experiencias posteriores han ido demostrando que un caudal de personas es más adaptable de lo que se suponía, comprobándose que el mismo no es función escalonada o

¹ “Norma Técnica ITSE-01.13 de Julio de 1986”, titulada “Medios de Evacuación: Criterios Generales de Diseño”

discreta de la anchura disponible, sino que es una función de tipo lineal. Por esta razón y aunque muchos reglamentos manejan todavía la U.D.P. o la mitad de una U.D.P. como postura más flexible, pueden adoptarse con pleno fundamento valores de flujo unitario y anchuras no modulares.

El flujo unitario depende del tipo de desplazamiento de que se trate y, en cada uno de ellos, de las condiciones de velocidad y densidad con que se realice, magnitudes que son, a su vez, interdependientes entre sí.

Experimentalmente se ha comprobado que pueden diferenciarse tres tipos de desplazamiento: a lo largo de pasillos o rampas, en escaleras y a través de huecos, puertas, estrechamientos o pasos similares.

2.5. Consideraciones finales

En lo que respecta a los tiempos admisibles para un desalojo, no existe ninguna norma oficial, aunque en la práctica, los organismos encargados de estos temas (Protección Civil, Servicios de Bomberos) recomiendan adoptar los siguientes criterios:

1. En edificios con ocupantes habituales y sometidos a una cierta disciplina o a posible entrenamiento (oficinas, centros de trabajo, etc.) y no destinados a alojamiento, el tiempo no debe superar los diez minutos.
2. En edificios con ocupación de las características anteriores pero que contengan alojamiento (vivienda, residencias, etc.) el tiempo no debe superar los ocho minutos.
3. En los casos restantes, el tiempo no debe superar los cinco minutos.

Cuando los tiempos resulten excesivos puede optarse por alguna de las siguientes alternativas.

- a) Disponer más escaleras de las estrictamente necesarias por distancias y disposición.
- b) Sobredimensionar las escaleras estrictamente necesarias.
- c) Sectorizar las plantas, resolviendo la evacuación de parte de sus ocupantes mediante el paso a un sector alternativo.

3. Programa informático simudes 1.0

Para empezar un nuevo análisis debemos comenzar con la definición de los diferentes recintos que forman parte del edificio (ver Figura 1). Este proceso es extremadamente tedioso, por lo que para aliviar en lo posible esta labor y dado que muchos recintos tendrán características similares se habilitan unos botones especiales que permiten copiar recintos de un mismo tipo (o características), así como guardar los datos introducidos hasta el momento.

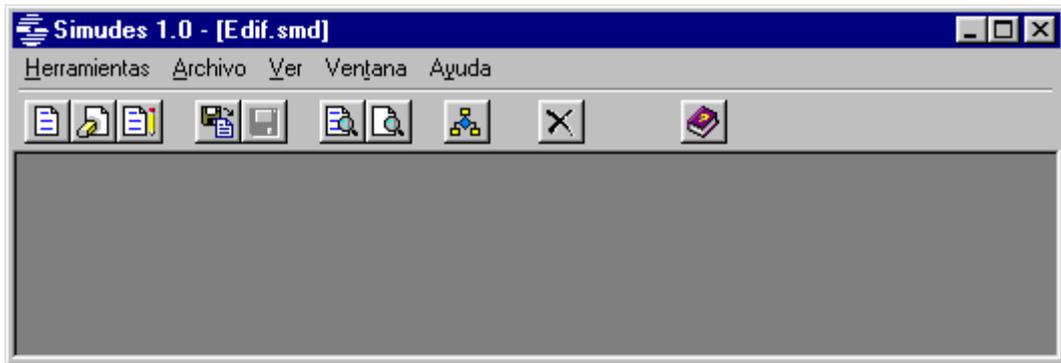


Figura 1. Ventana de recintos.

La introducción de los diferentes recintos se realiza a través de una serie de tablas, en las que deberemos elegir donde se localiza, capacidad (la máxima entre la real y la definida por la norma), superficie y características de las salidas.

Una vez finalizada la introducción de los diferentes recintos de los que consta el edificio a analizar, debemos proceder a la sectorización del mismo. Para ello se han considerado cuatro tipos de sectores (Figura 2):

- Sector básico: no tiene ninguna entrada, sólo dispone de una salida y contiene en su interior recintos..
- Sector normal: solamente tiene entradas (una o más) y una salida.
- Sector completo: tiene una o varias entradas, una salida, y contiene en su interior recintos.
- Sector acceso: sirve para comunicar dos plantas entre sí o para comunicar una planta con una salida exterior.

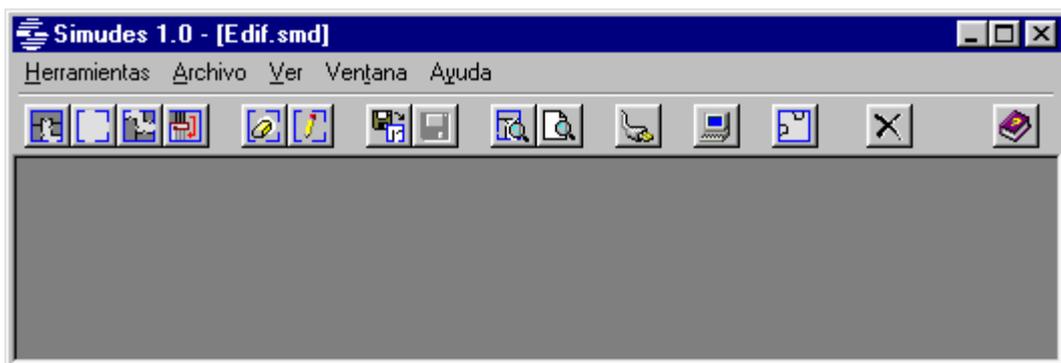


Figura 2. Ventana de módulo sectores.

Una vez definidos los diferentes sectores, podremos comprobar la configuración de los mismos (recintos incluidos y recorridos) por plantas y tipos de sector (ver Figura 3) y proceder a la conexión de los mismos para poder simular el desalojo del edificio.

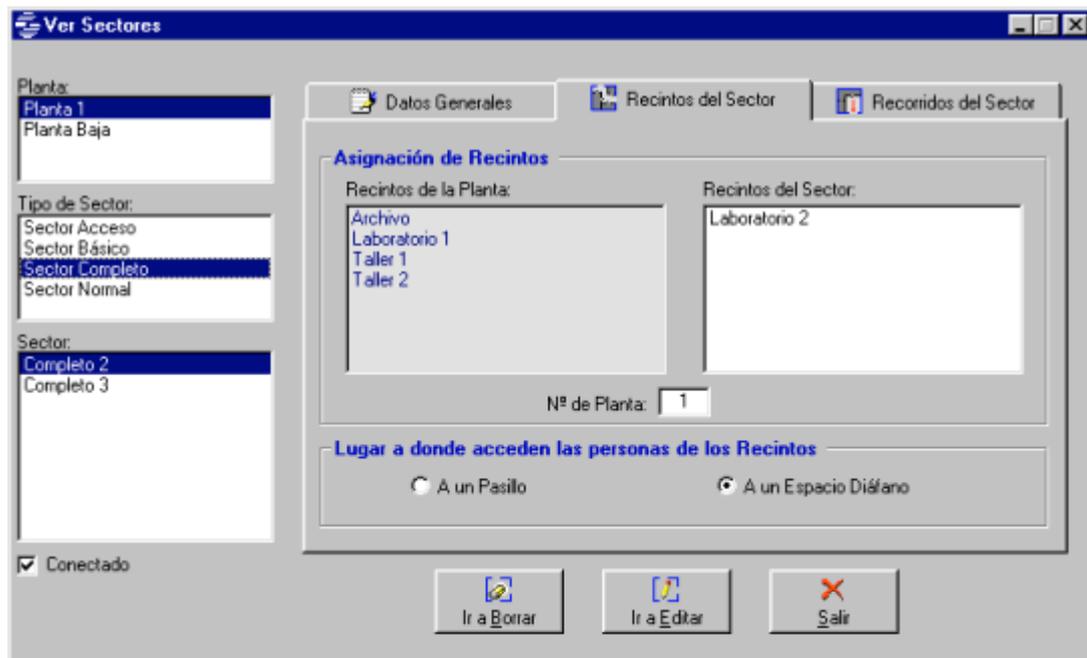


Figura 3. Ventana de ver sectores.

Antes de dar paso a la simulación (Figura 4), el programa analiza las diferentes conexiones, para detectar posibles recintos sin conectar a alguna salida.

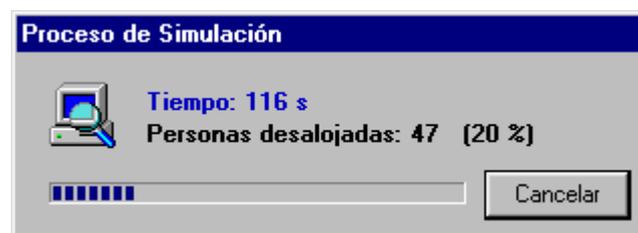


Figura 4. Proceso de simulación del desalojo.

Una vez realizada la simulación del desalojo del edificio (total o parcial), se pueden analizar los resultados a través de los diferentes tipos de gráficos que proporciona el programa, diferenciando entre el edificio, los sectores y los recintos.

4. Descripción del edificio

El edificio sobre el que vamos a realizar el análisis es la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad de Valladolid. Es un edificio moderno (inaugurado en 1986), aunque no cumple la normativa existente en la actualidad (del año 1996).

Conviene señalar la existencia de campos abiertos alrededor del mismo, lo que facilitará la evacuación posterior, por lo que el punto clave es el desalojo del edificio. Consta de un sótano y cubierta. La superficie total construida es de 6.490 m². En el semisótano cabe considerar la existencia de estancias a una segunda altura que constituyen la denominada entreplanta. La cubierta no será objeto de estudio ya que no tendrá ocupación alguna.

Respecto al horario de apertura del edificio, éste transcurre diariamente de 8 de la mañana a 10 de la noche, excepto los sábados, que permanece abierto de 9 de la mañana a 2 de la tarde, y los domingos, que permanece cerrado. Sin embargo, la mayoría de las actividades docentes que se imparten en el edificio motivan que la máxima ocupación se alcance de 9:00 h a 14:00 h (turno de mañana) y de 16:00 h a 21:00 h (turno de tarde) de lunes a viernes.

4.1. Cálculo de la ocupación

Respecto a la forma de proceder para la determinación de la ocupación, hay que seguir las indicaciones contempladas a este respecto en la NBE CPI-96. Se observa como la ocupación total del edificio en aplicación de la norma (Tabla 1), es mucho mayor que si se considera la ocupación más o menos real del edificio. Este margen por exceso (Tabla 2) es debido a que se considera siempre la situación más desfavorable a la hora de ocupar una determinada zona.

PLANTA	OCUPACIÓN
Planta Sótano	395
Entreplanta	76
Planta Baja	1.093
Planta Primera	1.088
Planta Segunda	686
TOTAL	3.338

Tabla 1. Ocupación total del edificio según normativa.

CRITERIO APLICADO	OCUPACIÓN
Ninguno (ocupación real)	2.390
NBE CPI-96	3.338
MARGEN	948

Tabla 2. Margen obtenido en aplicación de la norma.

El margen permite acoger a un número de personas que por cualquier motivo se encuentren en el edificio. Por esta razón, en la mayoría de los casos no hay que preocuparse del número que puedan significar estas personas, ya que generalmente constituirán una cantidad inferior al margen obtenido.

Según la ocupación calculada, el desalojo que se va a efectuar se realizará con 3.338 personas. Considerar las ocupaciones que aconseja la normativa, provoca en la mayoría de los casos que los resultados que se obtienen en la simulación, principalmente el que hace referencia al tiempo de desalojo, sean más desfavorables que los obtenidos en una situación real.

Esta particularidad no se debe interpretar como algo indeseable o erróneo. Su finalidad es la de permitir tener un cierto margen de seguridad frente a situaciones desfavorables que superen a una situación ideal.

4.2. Sectorización del edificio

El proceso de sectorización es una etapa en la que se trata de elegir los sectores más adecuados que permitan obtener un modelo bastante aproximado al sistema real que en este caso es la Escuela de Ingenieros.

Este proceso se debe efectuar a partir de la información que proporcione el plan de desalojo o evacuación que se haya realizado para el edificio. Esta será la forma correcta de proceder ya que en dicho plan se establecen los itinerarios a seguir por las personas que ocupan el edificio en caso de tener que desalojar el edificio por cualquier motivo.

En este caso, y a pesar de estar obligado por normativa, todavía no se ha realizado el citado plan de evacuación del edificio. Debido a esto, lo que tratará de ponerse de manifiesto será la manera de asignar sectores y de realizar sus conexiones para finalmente simular el desalojo.

La planta sótano, entreplanta, planta baja, planta primera y planta segunda, se corresponden en el ejemplo respectivamente con el sótano segundo (planta -2), sótano primero (planta -1), planta baja, planta primera (planta 1) y planta segunda (planta 2). Podría haberse elegido otra asignación de plantas siempre y cuando se guarde el orden y la relación entre ellas.

En la sectorización de las plantas se han considerado varias aproximaciones. Por ejemplo, las escaleras principales del edificio se han considerado de tramo continuo, es decir, sin que se divida el tramo a partir de la meseta intermedia. Por lo tanto para subir del sótano a la planta baja y para bajar de cualquier planta a la inmediata inferior, se hará de forma que se acceda a una entrada a un sector acceso en vez de a las dos que existen realmente. Esta aproximación no supone un cambio muy sustancial con la realidad, lo único que se aportará será una situación algo más desfavorable para el desalojo ya que el “tráfico de personas” a través de las escaleras será un poco más lento en el caso de que estén saturadas.

Otra simplificación considerada sin que ello signifique una pérdida de validez del modelo, es la de tener una sola entrada en el sector que recibe a las personas del espacio central de la planta baja. La anchura de esta entrada será la que resulta de sumar la de las dos entradas que existen en la realidad. Lo mismo ocurre con la salida de este sector.

4.3. Simulación del desalojo

Finalizado el proceso se obtiene como primer resultado el tiempo de duración del desalojo:

$$\text{Duración del Desalojo} = 777 \text{ s} = 12 \text{ min } 57 \text{ s}$$

Se tarda aproximadamente 13 minutos en desalojar a 3.338 personas. Para obtener alguna conclusión sobre las características del desalojo realizado y sobre la duración del mismo, es conveniente analizar algunos de los gráficos que Simudes 1.0 ofrece.

4.3.1. Estudio del edificio completo

Siempre que se haya realizado un plan de desalojo adecuado, los gráficos de “Máximas Colas” permitirán concluir que en una situación de emergencia existirán serios problemas que harán recomendable una serie de medidas de tipo constructivo en aquellos sectores que supongan dificultades (aumentar la anchura de la salida del sector, establecer algún otro itinerario de emergencia, etc.), o bien dotar al edificio en su conjunto de estructuras que desahoguen a parte de la ocupación por otras vías tales como escaleras de emergencia, salidas de emergencia, etc.

Colas tan enormes como la que se da en el sector que engloba al espacio central de la planta baja no deben extrañar ya que por este espacio circula la casi totalidad de la ocupación del edificio que, además, debe pasar por la única salida que hay disponible.

Por tanto, se demuestra con esto que las escaleras que comunican las plantas son inadecuadas para el desalojo debido a su escasa anchura. Asimismo hay multitud de salidas de recintos y sectores que también resultan inadecuadas. Como resultado se forman retenciones del todo inadmisibles.

4.3.2. Análisis de recintos

Con Simudes 1.0 puede obtenerse una mayor información del desalojo efectuado. Se puede disponer de las ocupaciones que han sido asignadas a cada uno de los recintos del edificio en aplicación de la NBE CPI-96. O mejor aún, como se ha ido desalojando un determinado recinto del edificio, mostrando las personas existentes en el recinto o las personas y los flujos en cada momento.

5. Conclusiones y futuros desarrollos

La normativa existente en la actualidad en España no aborda con la suficiente profundidad el problema del desalojo de edificios, a pesar de la gran cantidad de vidas humanas que entran a formar parte de su desarrollo.

En lo que concierne a los datos de las velocidades y los flujos, los datos encontrados tienen un carácter muy genérico. No hay ningún estudio acerca de cómo se verían modificados los datos en el caso de considerar personas con unas características un tanto especiales.

Personas ciegas o con algún tipo de discapacidad física, psíquica o motora, son colectivos para los cuales resultaría muy interesante obtener datos. La realización de estudios experimentales con este tipo de personas, permitiría obtener una información muy interesante y de gran ayuda. Con la aportación de estos estudios se daría otro paso para la plena integración de estas personas en la sociedad.

Dada la gran cantidad de factores a tener en cuenta, el análisis del desalojo de un edificio no puede realizarse sin la ayuda de alguna herramienta informática, como la desarrollada, que nos evite los cálculos y la determinación de valores aconsejables en las diferentes condiciones.

El programa que aquí se presenta: Simudes 1.0, es una primera versión que incluye la definición de los diferentes tipos de recintos que pueden existir en un edificio de cara al desalojo del mismo en función de su uso. También permite la conexión entre los diferentes recintos y sectores en los que queda configurado el edificio en función de los caminos de evacuación existentes y definidos en el plan de emergencia.

Para el caso de la E.T.S. de Ingenieros Industriales la duración del desalojo resulta excesiva, pues supera claramente el tope de diez minutos fijado para este tipo de edificios en la normativa. Además, se producen numerosas deficiencias que sería necesario corregir con la máxima urgencia, para minimizar en la medida de lo posible el riesgo de pérdida de vidas humanas en una situación de emergencia. Los sectores donde se producen las retenciones más importantes serían las escaleras principales de cada planta.

Entre las medidas que podrían adoptarse estarían las de disponer en cada planta nuevas salidas de emergencia por las que desviar parte de la corriente de desalojo y desahogar así los sectores en los que existen problemas. Esta necesaria medida podría tener el efecto deseado si se habilitaran las escaleras de emergencia existentes en el edificio de forma que resultaran aptas para la evacuación.

Bibliografía

Banks, J.; Carson, J.S.; Nelson, B.L. (1999). *Discrete-event system simulation*. Prentice-Hall, Upper Saddle River.

ITSEMAP (1986). *Medios de Evacuación: Criterios Generales de Diseño, Norma Técnica ITSE-01.13*. Itsemap, Madrid.

Ministerio de Fomento (1996). *Norma Básica de la Edificación para Condiciones de Protección Contra Incendios en los Edificios (NBE CPI-96)*. Centro de Publicaciones. Secretaría General Técnica. Ministerio de Fomento, Madrid.

Ríos Insua, D.; Ríos Insua, S.; Martín Jiménez, J. (1997). *Simulación: métodos y aplicaciones*. Ra-ma, Madrid.