

Método de evaluación del riesgo de incendio en el marco del Código Técnico de la Edificación



José Carlos Pérez-Martín * Ingeniero Industrial
Rafael Díaz-Díaz ** Dr. Ingeniero Industrial
Roberto Santos-García ** Ingeniero Industrial

*Ayuntamiento de Madrid, C/ Guatemala 13 - 28016 Madrid.
Tfno.: +34 915 884036; perezjmc@munimadrid.es

** UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID E.T.S.I. Industriales,
C/ José Gutiérrez Abascal, 2 - 28006 Madrid.
Tfno: +34 913 363060; rdiaz@etsii.upm.es, rsantos@etsii.upm.es

Recibido: 14/12/09 • Aceptado: 12/04/2010

Fire risk assessment method under the technical building code

ABSTRACT

• The high complexity of measuring and comparing the risk level of performance based design allowed by the Spanish Building Code (CTE) and the lack of Spanish legislation on the matter makes a fire risk evaluation tool highly useful guiding the projectist and the control authority over the feasibility of these complicated projects. A Fire Risk Evaluation Method within the frame of the Spanish Building Code (MEREDICTE) has been developed trying to balance input sources, simplicity and clearness in its use. The number of parameters implied guarantees sound, exhaustive and reliable outputs. MEREDICTE is made of 73 parameters: 31 calculate potential risk and 42 obtain protection level. In an orientative way, MEREDICTE's parameters triple those of the most referred and extended evaluation method: the Gretener Method. The article shows the MEREDICTE technique and foundations, the methodology used in its investigation and development, its most significant innovation and its possible applications. Regarding the protection level, its formulation and application are referred to the Windsor building of Madrid comparing the results obtained on the building as it was when it was devastated by the fire of February 2005 and whether it fulfilled the Spanish building code conditions.

• **Key words:** fire, evaluation method, risk, protection, danger, safety, Spanish building code, performance based design.

RESUMEN

La elevada complejidad que implica cuantificar y contrastar el nivel de riesgo de los proyectos basados en prestaciones a los que habilita el *Código Técnico de la Edificación* (CTE) y la carencia de normativa española en la materia, hace que sea de enorme utilidad contar con una herramienta de evaluación del riesgo de incendio que permitiese orientar al proyectista y a la autoridad de control sobre la viabilidad de estos complejos proyectos. Se ha desarrollado un *Método de evaluación del riesgo en caso de incendio en el marco del CTE (MEREDICTE)*. En su desarrollo se ha pretendido alcanzar un equilibrio entre el número de fuentes de entrada y la sencillez y transparencia en su utilización. El número de parámetros que intervienen ofrece una elevada exhaustividad y confianza en los resultados obtenidos. El *MEREDICTE* se compone

por 73 parámetros: 31 para determinar el Peligro Potencial y 42 para el cálculo del Nivel de Protección. A nivel orientativo, el *MEREDICTE* utiliza tres veces más parámetros que el método de evaluación más referenciado y extendido: el *Método Gretener*. El artículo muestra el estado de la técnica, los fundamentos del *MEREDICTE*, la metodología seguida en su investigación y desarrollo, sus novedades más relevantes, así como el abanico de aplicaciones. Respecto al Nivel de Protección, se describe su formulación y su aplicación comparada al edificio *Windsor* de Madrid según las características que éste tenía en el incendio que lo devastó en febrero de 2005 y si cumpliese las condiciones del CTE.

Palabras clave: incendio, fuego, método de evaluación, riesgo, protección, peligro, seguridad, Código Técnico de la Edificación, diseño basado en prestaciones.

SITUACION NORMATIVA EN MATERIA DE SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS EN ESPAÑA

A nivel nacional, las condiciones de seguridad que deben reunir los edificios han sido históricamente reguladas por normativas prescriptivas. Estas normativas se caracterizan por pormenorizar las medidas de seguridad a implementar (vías de evacuación, instalaciones de protección contra incendios (PCI), compartimentación, etc.) en función de las características del edificio (altura, superficie, usos, etc.).

El marco normativo cambia radicalmente a partir del año 2.006 con la aprobación del Código Técnico de la Edificación (CTE). La gran novedad del CTE radica en que se alinea con el denominado «enfoque basado en prestaciones».

A nivel internacional, los códigos basados en prestaciones o "performance based codes" comparten la misma filosofía: establecer los objetivos de seguridad contra incendios a obtener (prestaciones) y el modo de alcanzarlos, dando libertad al proyectista para seleccionar las medidas de protección que estime idóneas en cada caso concreto. Un proyecto basado en prestaciones (PBP) requiere que el proyectista acredite, técnica y documentalmente, a la autoridad de control edificatorio que con las medidas propuestas se alcanzan o superan los niveles de seguridad establecidos en la normativa.

1. PROBLEMÁTICA DE LA APLICACIÓN DEL ENFOQUE PRESTACIONAL EN EL MARCO DEL CTE

La opción prestacional del CTE es única y exclusivamente regulada en su Art. 5, que se limita a establecer que se pueden adoptar soluciones alternativas, siempre que se justifique documentalmente que el edificio proyectado cumpla las exigencias básicas del CTE porque sus prestaciones son, al menos, equivalentes a las que se obtendrían por la aplicación de los Documentos Básicos. Ningún otro artículo del CTE regula ningún aspecto más relacionado con el diseño prestacional a la que éste habilita.

Contrasta nuestro déficit regulatorio con la normativa internacional que cuenta con una copiosa y detallada reglamentación en la materia.

Para paliar las carencias de la normativa española, resultaría de mucha utilidad contar con una herramienta de evaluación del riesgo de incendio que permitiese orientar al proyectista y a la autoridad de control sobre la viabilidad de los PBP, circunstancia que nos ha motivado a emprender la investigación y el desarrollo de una herramienta de evaluación del riesgo de incendio de título *Método de evaluación del riesgo en caso de incendio en el marco del CTE*.

2. ESTADO DE LA TÉCNICA EN METODOS DE EVALUACION DEL RIESGO DE INCENDIO

Actualmente existe un amplio abanico de métodos de evaluación del riesgo de incendio: *Métodos de los Coeficiente K y Factores alfa*, *MESERI*, *Edwin E. Smith y G. A. Herpol*, *GREENER*, *Gustav Purt*, *ERIC*, *FRAME*, etc.

Los métodos citados son aplicables, si bien puede afirmarse que todos ellos incurrir en alguna/s de las limitaciones siguientes:

1. Numerosos métodos buscan simplificar y economizar esfuerzo y tiempo en su aplicación (Método *MESERI*,

Gustav Purt, etc.); como contrapartida tienen un grado de fiabilidad reducido.

2. El concepto de "seguridad" es relativo y su demanda evoluciona con la propia sociedad: difícilmente se puede adecuar a la actual realidad española métodos del siglo pasado: *Greener 1965*, *Purt 1971*, *ERIC 1977*, etc.
3. Ninguno de los métodos de evaluación del riesgo de incendio toma como referencia el nivel de seguridad establecido en el código edificatorio español.

3. APLICACIONES DEL MÉTODO DE EVALUACIÓN DEL RIESGO EN CASO DE INCENDIO EN EL MARCO DEL CTE

Además de servir para evaluar la viabilidad proyectos basados en prestaciones, el *MEREDICTE* permite cubrir otros objetivos de elevado interés en materia de seguridad contra incendios en la edificación:

• **Determinar el Nivel de Peligro**

- Realizar un catálogo completo de parámetros que permita conocer los peligros que potencialmente pueden afectar a un edificio.
- La comparativa de la cuantificación numérica atribuida a cada parámetro permitirá conocer la trascendencia relativa de cada uno de los peligros.
- Mediante la cuantificación de todos los peligros podemos evaluar el nivel de peligro de nuestro edificio.

• **Determinar el Nivel de Protección**

- Mediante una exhaustiva relación de las medidas de protección existente en el estado de la técnica, podemos identificar las medidas de protección que potencialmente pueden implantarse.
- La cuantificación de las medidas de seguridad orienta de la incidencia que tiene cada una de las medidas en la protección.

- Considerando todos los medios de seguridad del edificio, podremos determinar el nivel de protección alcanzado.
- **Verificar el cumplimiento del nivel de seguridad establecido en el CTE**
 - El método de evaluación permitirá orientar sobre el cumplimiento de todas y cada una de las seis Exigencias Básicas.
 - Mediante el contraste entre el Nivel de Riesgo y el Nivel de Protección podemos determinar si el edificio está suficientemente protegido.
- **Realizar protecciones contra incendios eficientes.**
 - Permite orientar en relación a la adopción de medidas de seguridad eficientes y proporcionadas al peligro que debe afrontarse.
- **Evaluar edificios existentes.**
 - Se puede analizar el estado de riesgo y protección de edificios existentes. También se podrá abordar la adopción de medidas correctoras a edificios para adaptarlos a la normativa vigente.
- **Evidenciar edificios que entrañan riesgo inminente y/o inasumible.**
 - Con el fin de evitar trágicos accidentes, el método permite analizar edificios existentes poniendo de manifiesto situaciones de alto riesgo para la seguridad.

4. DESTINATARIOS DEL MEREDICTE

El *MEREDICTE* está llamado a ser utilizado por los técnicos municipales de urbanismo y de los departamentos de prevención y extinción de incendios, responsables de informar las licencias municipales de obras y/o actividades, los ingenieros, arquitectos y técnicos encargados de realizar los proyectos de edificación, los ingenieros de seguridad contra incendios los técnicos de las compañías aseguradoras, etc.

5. METODOLOGIA DE INVESTIGACION Y DESARROLLO DEL MEREDICTE

A continuación se resume la metodología seguida en la investigación y el desarrollo de la formulación:

1. PROPUESTA INICIAL DE FORMULACIÓN DEL MÉTODO.

Se realiza una primera propuesta de formulación del *MEREDICTE* para lo cual se realizan las siguientes etapas:

- 1.1. Establecer los Principios Base en que se fundamenta el *MEREDICTE*.
- 1.2. Determinar todos aquellos parámetros principales que inciden en el Nivel de Peligro y en el Nivel de Protección.
- 1.3. Identificar y desarrollar el conjunto de parámetros secundarios en que se dividen cada una de los parámetros principales.
- 1.4. Determinar el abanico de alternativas que puede abarcar cada parámetro secundario.

- 1.5. En función de su relevancia, asignar a los parámetros un valor numérico.

2. REVISIÓN Y AJUSTE DE LAS FORMULACIONES PROVISIONALES Y OBTENCIÓN DE LA FORMULACIÓN FINAL DEL *MEREDICTE*.

Una vez establecida una primera propuesta de formulación, es sometida a un proceso reiterativo de revisión y afino de los valores que se desarrolla en las siguientes fases:

- 2.1. Análisis de sensibilidad mediante el método de Monte Carlo, con el objetivo de conocer la incidencia de cada uno de los parámetros sobre el conjunto de la fórmula matemática planteada.
- 2.2. Comprobación empírica mediante el análisis de casos prácticos.

Para afinar los valores asignados a los parámetros y comprobar la validez final del Método, se ha aplicado a 30 edificios representativos que barren las principales casuísticas que pueden darse en la edificación.

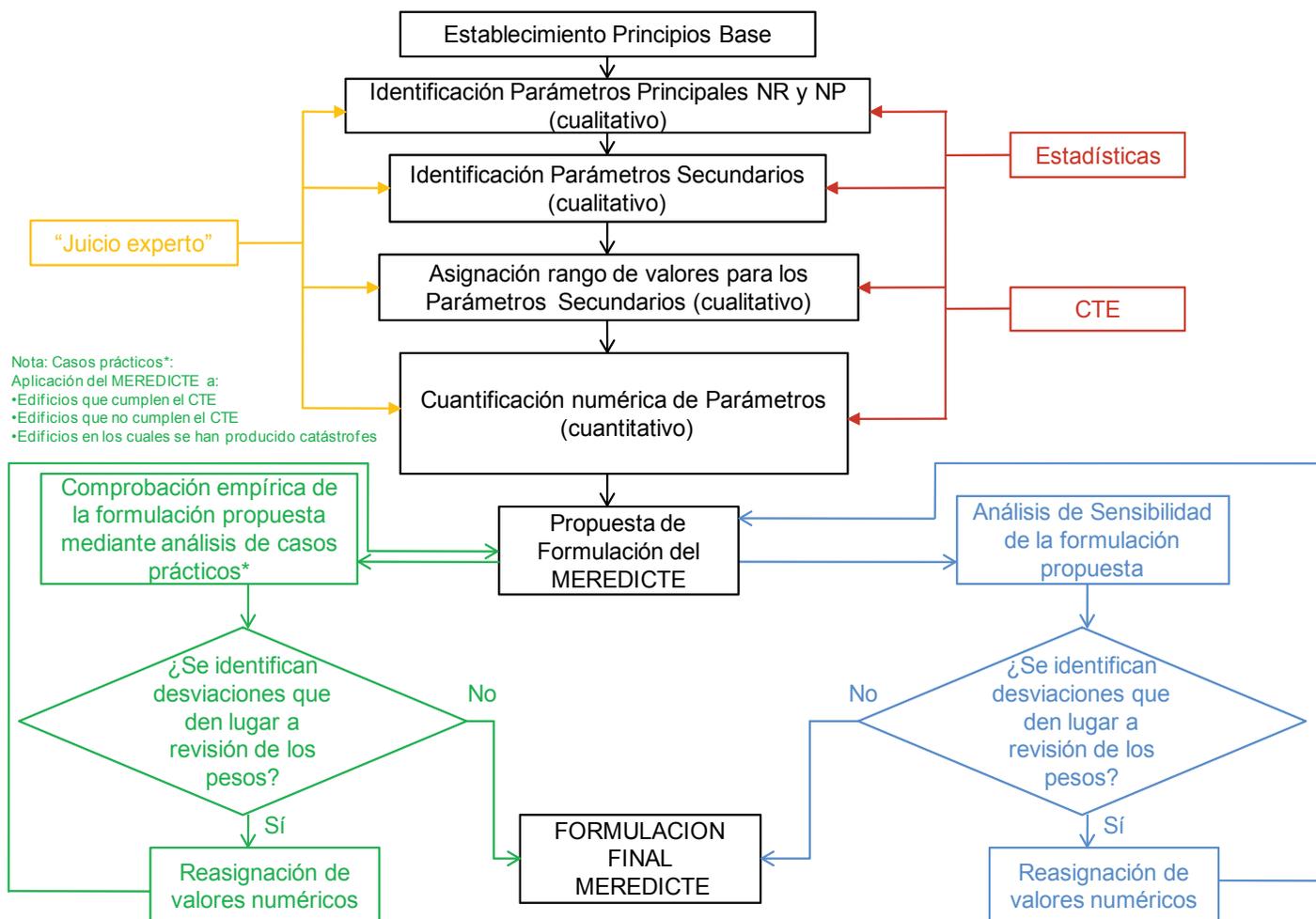
En función de los resultados esperados, se han clasificados los edificios en tres grupos:

- 2.2.1. Aplicación del *MEREDICTE* a edificios que cumplen el CTE (entre ellos: hospitales, hoteles, centros comerciales, aparcamientos, viviendas, etc.)
- 2.2.2. Aplicación del *MEREDICTE* a edificios que no cumplen el CTE (por ej.: discotecas, edificios de congresos y convenciones, edificios de gran altura, etc.)
- 2.2.3. Aplicación del *MEREDICTE* a edificios en los cuales se han producido catástrofes (edificio Windsor, Discoteca Alcalá 20, Hospital Petersburg, Kona Village Apartments Bremerton, etc.). La documentación de los edificios sometidos al *MEREDICTE* provienen de proyectos existentes en Madrid, de informes de investigación de incendios realizados por la *National Fire Protection Association*, e incluso de proyectos específicamente ideados para ser sometidos al Método. En todos los casos, ha sido preciso realizar una laboriosa indagación para conseguir los datos de los múltiples parámetros (características geométricas del edificio, aforo, materiales constructivos, características de las vías de evacuación, dotación de instalaciones, estructura y su protección frente al fuego, accesibilidad de bomberos...), que intervienen en el Método. Cuando no se ha contado con datos completos de los 73 parámetros que intervienen - circunstancia frecuente en edificios antiguos o con poca base documental-, se ha optado por cuantificar los parámetros desconocidos a tenor de la restante información, siempre desde el lado de la seguridad.

- 2.3. Observar si en los resultados obtenidos en el análisis de sensibilidad o en el análisis de los casos prácticos se detectan desviaciones en los pesos atribuidos a cada uno de los parámetros.

resultados obtenidos respecto a los esperados, se da por válida la formulación propuesta, dando lugar a la formulación final del *MEREDICTE*.

METODOLOGIA ELABORACION MEREDICTE



Esquema 1: Flujograma representativo de la metodología de investigación y desarrollo del Meredictte

- 2.4. Si de la comprobación anterior se identifican desviaciones, se revisan los pesos atribuidos a los parámetros causantes de las desviaciones y se establecen valores más acordes.
- 2.5. Los nuevos valores modifican la totalidad de los casos prácticos previamente analizados. Esto conlleva un nuevo análisis de todos y cada uno de ellos, que puede dar lugar a un reajuste más preciso del peso atribuido al parámetro objeto de modificación.
- 2.6. La reasignación de valores numéricos derivada del punto anterior, da lugar a una nueva propuesta de formulación del *MEREDICTE* y a comenzar la reiteración del proceso de revisión y ajuste.
- 2.7. Finalmente, cuando en la comprobación del punto 2.4 no se han identificado desviaciones en los

6. FUNDAMENTOS DEL MÉTODO DE EVALUACIÓN DEL RIESGO EN CASO DE INCENDIO EN EL MARCO DEL CTE

El *MEREDICTE* se fundamenta en las premisas siguientes:

- a) El nivel de riesgo que evalúa el *MEREDICTE* está referido a los usuarios de un edificio en caso de incendio de origen accidental, que es el objetivo de la normativa española. A estos efectos, se entiende que el propósito del CTE se alcanza cuando no se producen daños letales o incapacitantes, salvo en el caso de personas inmediatamente expuestas al incendio.

El *MEREDICTE* no se refiere a la protección del edificio ni a los bienes en él contenidos. Tampoco a un incendio cuando su origen es intencionado.

- b) El *MEREDICTE* se aplica a un sector de incendio. No obstante -porque no puede entenderse un sector de incendio aislado de un edificio- existen otras partes del inmueble que necesariamente se evalúan con cada sector (medios de evacuación desde el sector hasta la salida del edificio, fachadas accesibles del edificio a bomberos, etc.). Cuando un edificio tiene varios sectores de incendio y quiere determinarse el nivel de riesgo del edificio, hay que evaluar sector a sector o, al menos, aquel que mayor riesgo tenga para determinar el nivel de riesgo del edificio.
- c) Por su naturaleza, la predicción del inicio y la evolución del incendio es un proceso extremadamente complejo donde actúa un elevado número de parámetros de naturaleza heterogénea. El *MEREDICTE* trata de reducir el factor de incertidumbre disponiendo de un elevado número de parámetros. Los coeficientes de la formulación y los pesos de los parámetros principales y secundarios han sido atribuidos en base a estadísticas, las previsiones del CTE y al juicio experto. Además, los parámetros han sido objeto de una exhaustiva y reiterada revisión mediante análisis matemáticos de sensibilidad (Método de Monte Carlo) y sometiéndolo a una treintena de casos prácticos representativos.
- d) El *MEREDICTE* va a dar resultados que pueden ser de mucha utilidad para evaluar el riesgo en caso de incendio. No obstante, debe entenderse que se trata de resultados de carácter orientativo, no pretendiendo en ningún caso constituirse en sustituto de la normativa.
- e) En caso de que los resultados del Método reflejasen incertidumbre sobre el nivel de seguridad alcanzado, conviene acometer un estudio de ingeniería de seguridad contra incendios más profundo y exhaustivo a través de herramientas como el modelado, la simulación computacional, etc.
- f) Para la adecuada aplicación del *MEREDICTE* -selección correcta de los datos de entrada e interpretación apropiada de los resultados- se requiere una mínima formación y experiencia en materia de seguridad contra incendios.
- g) En la aplicación del *MEREDICTE*, la mayor inversión de tiempo está destinada a la obtención de los datos, en lo que puede emplearse desde unas horas hasta varios días si fuera necesario hacer visitas para recabar información in situ o hacer una laboriosa búsqueda documental. La aplicación del Método propiamente dicha puede durar de 1-2 horas.

Para facilitar y potenciar la aplicación del *MEREDICTE* el autor utiliza una hoja de cálculo Excel.

7. NOVEDADES DEL MÉTODO DE EVALUACIÓN DEL RIESGO EN CASO DE INCENDIO EN EL MARCO DEL CTE

Entre las novedades que aporta el *MEREDICTE*, destacan las siguientes:

1. El *MEREDICTE* se fundamenta en la legislación edificatoria española. La terminología, definiciones, descripción de usos, así como la cuantificación numérica de los pesos asignados a los parámetros están basados en el CTE.
2. El número de parámetros que intervienen, nos va a ofrecer una elevada exhaustividad y confianza en los resultados obtenidos.
Se ha desarrollado un elevado número de parámetros que intervienen en la formulación. El *MEREDICTE* lo componen 73 parámetros: 31 para determinar el peligro potencial y 42 para el cálculo del nivel de protección edificatorio. A nivel orientativo, el *MEREDICTE* utiliza tres veces más parámetros de entradas que el método de evaluación más referenciado y extendido: el *Método Gretener*; que utiliza 24 parámetros -9 para determinar el nivel de peligro y 15 para el nivel de protección-.
3. En el desarrollo del *MEREDICTE* se ha pretendido alcanzar un equilibrio entre el nº de fuentes de entrada y la sencillez de aplicación, transparencia y reducida inversión de tiempo en su utilización.
4. Se han desarrollado nuevos parámetros para determinar el Nivel de Peligro Potencial.
5. Para determinar el Nivel de Protección, se han desarrollado parámetros novedosos o con un enfoque original, entre los que cabe resaltar:
 - Coeficientes para las puertas: La elevada incidencia de las puertas en la seguridad ha sido prevista en el *MEREDICTE* en su doble vertiente: cuantificar su efecto como elemento cortafuegos y como medio de evacuación.
 - Número de salidas: Parámetro de gran trascendencia, destinado a informarnos sobre la facilidad que tienen los ocupantes para evacuar por diferentes salidas, permitiendo disponer de alternatividad de rutas de escape en caso de bloqueo de alguna de las salidas por efecto del humo o de las llamas. El *MEREDICTE* desarrolla seis tipologías gráficas novedosas que resumen el número de casos que pueden darse en función del número de salidas y de su disposición geométrica.
 - Protección de los recorridos de evacuación: Este parámetro indica la incidencia que tiene, para una segura evacuación de los ocupantes, disponer de medios de evacuación que sean rápidos y seguros. Se diferencia entre medios de evacuación horizontales (más rápidos y garantistas) de los verticales o mixtos. Además, prevé la seguridad del medio de evacuación -expuestos o no a los efectos del humo y llamas - y diferencia entre los

que están dotados de recorridos de evacuación protegidos, en su diferente magnitud (delimitados por paramentos resistentes al fuego, vestíbulos de independencia ventilados, etc.), de los que carecen de tales protecciones.

- Instalaciones de extinción automática: Tal y como acreditan las estadísticas, estas instalaciones, destinadas a una rápida y eficaz extinción del incendio, representan una de las medidas de seguridad más eficaces que pueden implantarse. Si bien este parámetro ha estado tradicionalmente recogido en muchos métodos de evaluación, en el *MEREDICTE* se le ha dado un tratamiento novedoso, de forma que su incidencia en la seguridad se ha considerado en función de tres factores determinantes: la naturaleza de la zona dotada de cobertura, la magnitud del área dotada de cobertura respecto del sector, y el objetivo de diseño de la instalación: extinción, supresión o extinción del incendio.
- Control del humo de incendio: La mayoría de los muertos de un incendio están relacionados con la inhalación de humos tóxicos. La importancia de la ventilación como medida de protección frente a los humos queda recogida en el *MEREDICTE* con dos

$$\text{NIVEL DE RIESGO GLOBAL DE INCENDIO (NRG)} = \frac{\text{PELIGRO POTENCIAL (PP)}}{\text{NIVEL DE PROTECCION GLOBAL (NPG)}}$$

parámetros. El primero, se refiere a la ventilación de los recorridos de evacuación protegidos (escaleras, pasillos, etc.). El segundo, evalúa la importancia que tiene, para una segura evacuación de los ocupantes, disponer de un sistema que garantice el control de temperatura y evacuación de humos en atrios, espacios de pública concurrencia, centros comerciales así como, por su elevada tasa de liberación de humos, en los aparcamientos, todo ello conforme a lo dispuesto en la *Norma UNE 23585 Sistemas de control de temperatura y evacuación de humos*.

- Plan de Autoprotección: Además de las medidas activas y pasivas con que cuenta el edificio, la seguridad de un edificio se apoya en un pilar fundamental: el Plan de Autoprotección. Éste determina el marco orgánico y funcional previsto por una actividad con el objeto de prevenir y controlar los riesgos sobre las personas y los bienes y dar respuesta adecuada a las posibles situaciones de emergencia. Un edificio adecuadamente dotado de medidas de seguridad, pero carente de un plan de actuación en caso emergencia, formación de los trabajadores, etc. puede resultar absolutamente inseguro. Por la relevancia que para la seguridad tiene contar con un eficaz Plan de Autoprotección y una correcta implantación, el *MEREDICTE* le

otorga el valor de parámetro principal. A efectos del Plan de Autoprotección, el *MEREDICTE* clasifica los edificios en tres tipos en función del grado decreciente de peligrosidad, cuantificando su protección en función del grado de cumplimiento de la directrices marcadas para los Planes de Autoprotección tanto en la legislación nacional de riesgos laborales como en la de los establecimientos o actividades que puedan dar lugar a situaciones de emergencia para los ocupantes.

8. FORMULACIÓN DEL NIVEL DE PROTECCIÓN GLOBAL EN EL MÉTODO DE EVALUACIÓN DEL RIESGO EN CASO DE INCENDIO EN EL MARCO DEL CTE

Desde un punto de vista ingenieril, se puede definir riesgo de incendio como una función combinación de dos factores: *probabilidad de ocurrencia de un incendio* (frecuencia) x *magnitud del daño generado por éste* (gravedad).

$\text{Riesgo de incendio} = \text{frecuencia del incendio} \cdot \text{gravedad del incendio}$

También puede definirse como la relación entre el peligro y la protección frente al incendio:

El *MEREDICTE* parte del principio de que un edificio está adecuadamente protegido cuando existe equilibrio entre el peligro potencial de incendio y los medios de protección del edificio.

Si el *Peligro Potencial de Incendio* es mayor que el *Nivel de Protección Global*, el *Nivel de Riesgo Global* será mayor que 1 y nos indicará que el peligro no está adecuadamente cubierto con las medidas de protección adoptadas.

En caso contrario, si $\text{NRG} \leq 1$, nos indica que el *Peligro Potencial de Incendio* ha sido contrarrestado mediante la adopción de un *Nivel de Protección Global* acorde al peligro existente.

Cuanto mayor sea la desviación respecto de la unidad, más se aleja el NRG del punto de equilibrio, tendiendo hacia los extremos de la seguridad o inseguridad:

- **Aceptable** (en termino creciente) cuando $0 < \text{NRG} \leq 1$.
- **Inaceptable** (en termino creciente) cuando $1 < \text{NRG} < \infty$.

Con carácter general, el cumplimiento de las medidas del CTE implica que el *Nivel de Riesgo Global* se encontrará dentro de valores aceptables de riesgo, $\text{NRG} \leq 1$. Por tanto, si el $\text{NRG} > 1$ el *MEREDICTE* nos orienta sobre un probable incumplimiento del nivel de seguridad establecido en el CTE.

Parámetros Principales que definen el Nivel de Protección Global

Estos parámetros se corresponden con las Exigencias Básicas del Documento Básico Seguridad en caso de Incendios completadas con el Nivel del Plan de Autoprotección.

P EXIGENCIA PROPAGACIÓN DEL INCENDIO

Las Exigencia básica del CTE: SI 1 Propagación interior y Exigencia básica SI 2 Propagación exterior se analizan de forma independiente, si bien, por resultar más coherente con el Método, se agrupan en un concepto único denominado Exigencia Propagación del Incendio. Este parámetro nos informa de las medidas de protección pasiva tendentes a evitar la propagación del incendio.

PI EXIGENCIA BÁSICA PROPAGACIÓN INTERIOR

Este parámetro principal se corresponde con las condiciones de seguridad de la Exigencia básica SI 1 - Propagación interior del DB SI, previstas para limitar el riesgo de propagación del incendio por el interior del edificio.

PE EXIGENCIA BÁSICA PROPAGACIÓN EXTERIOR

Este parámetro principal informa sobre las medidas de seguridad de la Exigencia básica SI 2 - Propagación exterior del DB SI, conducentes a limitar el riesgo de propagación del incendio por el exterior, tanto en el edificio considerado como a otros edificios.

EO EXIGENCIA BÁSICA EVACUACIÓN DE OCUPANTES

Este parámetro principal informa sobre el cumplimiento de la Exigencia básica SI 3 - Evacuación de ocupantes con el fin de que el edificio disponga de los medios de evacuación adecuados para que los ocupantes puedan abandonarlo o alcanzar un lugar seguro dentro del mismo en condiciones de seguridad". Este Parámetro Principal resulta determinante en el Método, ya que está íntimamente ligado a la consecución final del objetivo del requisito básico seguridad en caso de incendio del CTE.

IPCI EXIGENCIA BÁSICA INSTALACIONES DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

Informa sobre el cumplimiento de la Exigencia básica SI 4 - Instalaciones de protección contra incendios, indicando si el edificio dispone de los equipos e instalaciones adecuados para hacer posible la detección, el control y la extinción del incendio, así como la transmisión de la alarma a los ocupantes.

IB EXIGENCIA BÁSICA INTERVENCIÓN DE LOS BOMBEROS

Informa sobre el cumplimiento de la Exigencia básica SI 5 - Intervención de bomberos, de forma que se facilite la intervención de los equipos de rescate y de extinción de incendios.

Las anteriores Exigencias del CTE mantienen un elevado grado de independencia entre sí por lo que en la formulación se han representado de forma aditiva. El grado de influencia en el MEREDICTE de cada una de ellas se ha estimado en función de su incidencia relativa en el cumplimiento del Requisito Básico Seguridad en caso de Incendios que, cabe recordar, consiste en limitar el riesgo de que los usuarios de un edificio sufran daños derivados de un incendio de origen accidental.

La Exigencia Básica Evacuación de Ocupantes es la más íntimamente ligada a la consecución del Requisito ya que, lograda la seguridad de los mismos, el grueso del Requisito habría sido alcanzado. Es por ello que a esta exigencia se le ha otorgado la mayor contribución: el 40 % sobre el total. Las Exigencias Propagación del Incendio e Instalaciones de PCI constituyen dos de los pilares de la seguridad. Su trascendencia es muy elevada, 48% del total, y de incidencia similar: 24 % cada una. En cuanto a la Exigencia Básica Intervención de los Bomberos, resulta muy relevante para la seguridad su actuación en caso de emergencia, por lo que, aún cuando su articulado técnico es muy reducido, se le ha otorgado un valor del 12 %.

INFLUENCIA RELATIVA

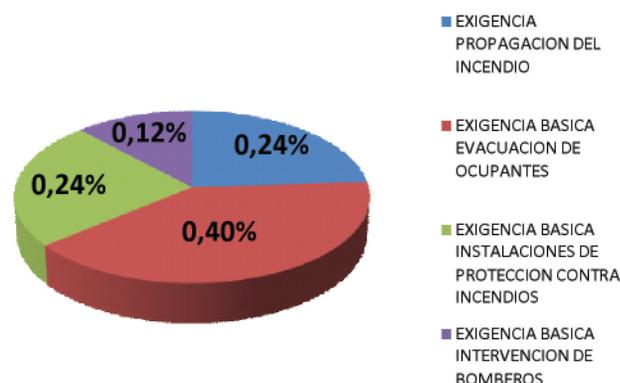


Figura 1: Influencia relativa entre parámetros principales

RFE EXIGENCIA BÁSICA RESISTENCIA AL FUEGO DE LA ESTRUCTURA

Este parámetro principal ilustra sobre el cumplimiento de la Exigencia básica SI 6 - Resistencia al fuego de la estructura, relativo a que la estructura portante mantenga su resistencia al fuego durante el tiempo necesario para que puedan cumplirse las anteriores exigencias básicas. Como es lógico, si el incendio colapsa la estructura, no podrá cumplirse

ninguna otra Exigencia, por lo que este parámetro condiciona las restantes Exigencias Básicas. Este grado de dependencia se ha reflejado considerándolo factor multiplicativo en la formulación.

NIVEL DE PROTECCIÓN EDIFICATORIO

Las anteriores Exigencias Básicas conforman el Nivel de Protección Edificatorio:

$$\text{Nivel de Protección Edificatorio} = RFE \times (0.24 \times P + 0.4 \times EO + 0.24 \times IPCI + 0.12 \times IB)$$

NPA NIVEL DEL PLAN DE AUTOPROTECCIÓN

Las medidas de seguridad edificatorias que se derivan de los parámetros anteriores no son eficaces sino están adecuadamente complementadas con una eficiente Autoprotección de forma que se posibilite la prevención y la adecuada gestión de los medios humanos y de protección implantados en el edificio en caso de emergencia.

A tal efecto, se evalúa el cumplimiento de la legislación nacional sobre Planes de Autoprotección y Prevención de Riesgos Laborales. Por la elevada relevancia que para la seguridad tiene, se le otorga el valor de parámetro principal.

EL NIVEL DEL PLAN DE AUTOPROTECCIÓN

Condiciona el cumplimiento de las restantes Exigencias Básicas. Este grado de dependencia se ha reflejado considerándolo factor multiplicativo en la formulación de forma que refleje cuantitativamente su verdadera influencia.

NIVEL DE PROTECCIÓN GLOBAL

El **Nivel de Protección Global** se formula en la siguiente expresión:

$$\text{NIVEL DE PROTECCION GLOBAL (NPG)} = \text{NIVEL PLAN DE AUTOPROTECCION(NPA)} \times \text{NIVEL DE PROTECCION EDIFICATORIO(NPE)}$$

$$\text{Nivel de Protección Global} = NPA \times RFE \times (0.24 \times P + 0.4 \times EO + 0.24 \times IPCI + 0.12 \times IB)$$

Desde el punto de vista matemático, el **Nivel de protección Global** queda representado en el *MEREDICTE* con la siguiente expresión:

$$NPG = NPA \times RFE \times (0.24 \times \prod_{i=1}^{i=4} pi1i \times \prod_{i=1}^{i=3} pi3i \times \prod_{i=1}^{i=2} pei + 0.4 \times EO1 \times EO2 \times EO3 \times \prod_{i=1}^{i=5} eo4i \times \prod_{i=1}^{i=4} eo5i \times EO6 \times EO7 + 0.24 \times \prod_{i=1}^{i=6} ipci1i \times \prod_{i=1}^{i=5} ipci2i \times \prod_{i=1}^{i=2} ipci3i \times \prod_{i=1}^{i=3} ipci4i + 0.12 \times \prod_{i=1}^{i=3} ibi)$$

9. DISCUSIÓN

El *MEREDICTE* es un método de evaluación que permite cuantificar y contrastar el Peligro Potencial, el Nivel de Protección y el Nivel de Riesgo. Los porcentajes y

coeficientes de la formulación y los pesos de los parámetros principales y secundarios han sido atribuidos en base a estadísticas, las previsiones del CTE y al juicio experto del autor y han sido contrastados mediante análisis matemáticos de sensibilidad (*Método de Monte Carlo*) y una treintena de casos prácticos representativos.

Tanto los porcentajes de la formulación como los pesos atribuidos a los parámetros no están cerrados, sino que

están abiertos a ser revisados y afinados en base a nuevos datos estadísticos, estudios pormenorizados que valoren en mayor grado de detalle la incidencia parcial y global de cada parámetro, incendios reales que pongan en cuestión la atribución de pesos, etc.

De igual forma, la formulación del *MEREDICTE* deberá estar sometida a revisión periódica para adaptarla a la realidad social (el umbral de seguridad es más exigente cuanto más se desarrolla una sociedad), el avance reglamentario, así como la progresión del estado de la técnica de cada momento.

10. APLICACIÓN COMPARADA DEL MEREDICTE AL EDIFICIO WINDSOR DE MADRID

Se va a exponer de forma sucinta la aplicación del cálculo del Nivel de Protección según el *MEREDICTE* al del edificio *Windsor* según las características que éste tenía en el incendio que lo devastó el día 12 de febrero de 2.005 y el edificio *Windsor* si cumpliera con las condiciones de seguridad del CTE. De esta forma podremos comparar los resultados obtenidos para ambos edificios. Por su elevada extensión, el cálculo del Peligro Potencial y su contraste con el Nivel de protección para obtener el Nivel de Riesgo no será abordado en este artículo.

10.1. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL EDIFICIO WINDSOR CUANDO ACONTECIÓ EL INCENDIO -CASO A-

Se trata de un edificio de gran altura (EGA) destinado a uso administrativo, planta rectangular de 25'90 m x 40'04 m (1037 m²), superficie construida total 35.500 m², 28 plantas sobre rasante, altura de coronación 106 m, altura máxima de evacuación 97.6 m. Estructura: núcleo central de hormigón

armado y estructura perimetral de acero. El número de ocupante por planta es de 104 personas.

Conviene destacar que el proyecto y la licencia de construcción son del año 1974. La Construcción se realizó entre los años 1974-1979. En Madrid no se contaba con normativa municipal hasta el año 1.976 y en España no hubo normativa estatal hasta el año 1.981, por lo que el edificio no fue diseñado conforme a ninguna normativa de PCI. En la fecha en la que se produjo el incendio el edificio estaba en uso, si bien se estaba simultaneando con obras que entre otros cometidos pretendían adaptarlo al *Reglamento de Prevención de Incendios de la Comunidad de Madrid* del año 2.003.

Protección Pasiva

- La estructura perimetral metálica carecía de resistencia al fuego. Se estaban protegiendo los pilares metálicos con una estabilidad al fuego de 180 minutos habiendo llegado a proteger parcial o totalmente hasta la planta nº 17.
- Se pretendía que cada una de las plantas fuera un sector de incendios. No obstante, existían múltiples pasos de instalaciones, patinillos, etc. atravesando los forjados que rompían la compartimentación y que no habían sido objeto aún de sellado. Se estaban dotando de nuevas puertas, tapas de registro, cortafuegos, etc.
- Se disponía de un gran número de moquetas, paredes revestidas de materiales nobles: madera, textiles.... sin limitación en su grado de reacción al fuego.
- El edificio primitivo carecía de medidas de seguridad para evitar la propagación del incendio por fachada. En el momento del incendio estaba previsto instalar 1.600 placas de 1.5 m resistentes al fuego durante 180 minutos en el encuentro forjado fachada. Lamentablemente estaban colocadas sin acabar y, no tan solo no cumplieron con su función, sino que actuaron como elemento que condujo los materiales combustibles al interior de las plantas inferiores.
- A las dos escaleras existentes se le acababa de sumar una tercera escalera de evacuación exterior por fachada oeste.

Protección Activa

En el momento del incendio contaba con:

- Detección automática, fundamentalmente a base de detectores térmicos
- Central de detección con señal luminosa que únicamente indicaba la existencia de un incendio
- Conexión de ésta a una central general de alarmas, situada en distinto local, que indicaba planta y sector
- Columna seca con salida en rellanos intermedios de caja de escalera. La toma en fachada no era adecuadamente visible
- Extintores de incendios
- Bocas de Incendio Equipadas: 2 por planta (4 en algunas plantas)

- Se estaba dotando de rociadores automáticos (un considerable número de plantas contaba con ellos instalados pero todavía fuera de servicio)
- Se estaba procediendo a modernizar la totalidad de las instalaciones de PCI.



Figura 2: Edificio Windsor

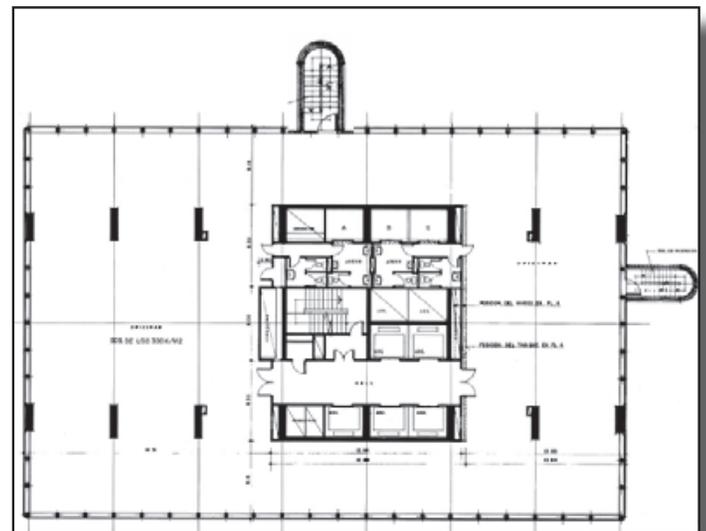


Figura 3: Plano de las plantas superiores donde puede apreciarse la distribución y la ubicación de las escaleras



Figura 4: Estructura central de hormigón y perimetral metálica



Figura 5: Pilares inferiores deformados por la agresión térmica frente a los pilares superiores intactos al estar protegidos frente al fuego



Figura 8: Rociador instalado sin servicio



Figura 6: Estado de las placas de protección de fachada



Figura 9: Propagación del incendio ascendente y descendente



Figura 7: Paso de instalaciones por forjado sin sellado



Figura 10: Propagación generalizada del incendio



Figura 11: Situación del edificio tras el incendio

10.2. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL EDIFICIO WINDSOR DISEÑADO SEGÚN EL CTE –CASO B-

Protección Pasiva

- Al disponer de rociadores automáticos, la normativa permitiría compartimentarlo en sectores de incendios de hasta 5.000 m². En nuestro caso lo suponemos compartimentado en sectores de incendios cada uno de los cuales podría llegar a contener hasta 4 plantas (4.148 m²).

resistentes al fuego que eviten la propagación vertical y horizontal de incendio por la fachada y cubierta.

- Respecto de las condiciones de evacuación, se considera que las del Windsor existente cumplimentarían el CTE (número y disposición de salidas, recorridos de evacuación, protección de escaleras, etc.), por lo que en este aspecto se mantendrían inalterables para ambos edificios.

Protección Activa

- Detección automática, alarma, pulsadores manuales, central de emergencia.
- Rociadores automáticos protegiendo todo el edificio.
- BIEs, hidrantes, columna seca, extintores, protegiendo la totalidad del edificio.
- Alumbrado de emergencia, señalización de los medios de evacuación y protección, etc.
- Se cumple las restantes condiciones de seguridad reglamentarias.

10.3. APLICACIÓN DEL MEREDICTE PARA LOS DOS CASOS DE ESTUDIO: WINDSOR INCENDIADO Y WINDSOR CONFORME AL CTE

En ambos casos se analiza el sector de mayor riesgo: el ubicado a mayor altura. En el caso del Windsor existente, el sector lo constituye una sola planta (planta 28). En el caso del W. conforme al CTE, el sector lo van a constituir las 4 últimas plantas del edificio (planta 25-28).

Debido al gran número de parámetros que intervienen, se va a limitar a representar los resultados de los *parámetros principales* del Nivel de Protección:

	EDIFICIO WINDSOR	
	Caso A (Existente)	Caso B (Conforme al CTE)
NIVEL DE PROTECCION		
PROPAGACION DEL INCENDIO	0,05	0,21
EXIGENCIA BASICA PROPAGACION INTERIOR	0,36	0,86
EXIGENCIA BASICA PROPAGACION EXTERIOR	0,60	1,00
EXIGENCIA BASICA EVACUACION DE OCUPANTES	0,70	0,70
EXIGENCIA BASICA INSTALACIONES DE PROTECCION CONTRA INCENDIOS	0,85	2,99
EXIGENCIA BASICA INTERVENCION DE LOS BOMBEROS	0,22	0,22
EXIGENCIA BASICA RESISTENCIA AL FUEGO DE LA ESTRUCTURA	0,20	1,15
PLAN DE AUTOPROTECCION	0,50	1,00
NIVEL DE PROTECCION EDIFICATORIO	0,37	4,74
NIVEL DE PROTECCION GLOBAL	0,18	4,74

- La totalidad de la estructura debiera ser resistente al fuego, al menos, durante 120 minutos.
- Sellado de instalaciones, características de las puertas (resistencia al fuego, cierrapuertas, etc.), grado de reacción al fuego de los materiales de paredes y techos, etc., con el nivel de seguridad establecido en el CTE.
- Debiera disponerse obligatoriamente de franjas

Figura 11: Niveles de Protección edificio Windsor existente frente al Windsor si cumpliera el CTE

10.4. ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS

La EXIGENCIA PROPAGACIÓN DEL INCENDIO se desploma en el Caso A debido a las múltiples y relevantes

deficiencias expuestas que impiden evitar, tanto la propagación por el interior del edificio, como por el exterior. En el Caso B, con el estricto cumplimiento se obtiene un valor razonable tratándose de un EGA.

La EXIGENCIA BÁSICA EVACUACIÓN DE OCUPANTES, uno de los parámetros que más influye en el *MEREDICTE*, suponemos que cumplimenta en ambos Casos y de idéntica forma el CTE.

La EXIGENCIA BÁSICA INSTALACIONES DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS difiere sustancialmente en ambos casos. Si bien el elevado valor obtenido en el Caso B indica que el edificio cuenta con una gran dotación de instalaciones de PCI que logra que el edificio pueda considerarse “autoprotegido” (instalación de extinción automática, detección y alarma, ascensores de emergencia, etc.), respondiendo a las necesidades propias de los EGA. En cambio, el Caso A cuenta con una dotación de instalaciones que, si bien no es despreciable, resulta insuficientemente para cubrir las elevadas necesidades de los EGA, principalmente por la ausencia de extinción automática.

La EXIGENCIA BÁSICA INTERVENCIÓN DE LOS BOMBEROS está condicionada por la ubicación del edificio en el entorno urbano y por la facilidad de acceso al interior del mismo. En este caso concreto, esta Exigencia tiene una incidencia reducida ya que la altura de estos edificios hace que resulte imposible el acceso a todas las plantas de los equipos de rescate y extinción desde el exterior, de ahí la importancia de que los EGA sean autoprotegidos. Al tratarse de un entorno urbano consolidado suponemos en ambos casos las mismas condiciones.

La EXIGENCIA BÁSICA RESISTENCIA AL FUEGO DE LA ESTRUCTURA va a informar si el edificio mantiene su capacidad portante permitiendo alcanzar las anteriores exigencias básicas. Este parámetro es determinante en el resultado final del *MEREDICTE* al tener un efecto multiplicador sobre el resto de parámetros principales. La protección estructural exigida por el CTE para el Caso B, permitiría que el edificio soportase el incendio, mientras se lleva a cabo la evacuación, el control y la extinción del incendio. En cambio, para el Caso A –tal y como puso de manifiesto el incendio- la ausencia de resistencia al fuego de buena parte de la estructura metálica perimetral derivó en el colapso de buena parte del edificio.

El NIVEL DE PROTECCIÓN EDIFICATORIO en el Caso B es muy elevado. En cambio, como era previsible ante las notables carencias de seguridad, para el Caso A se obtiene un valor muy bajo, incapaz de dar adecuada respuesta al elevado riesgo inherente de los EGA.

En el Caso B ha de cumplimentarse con la legislación de Autoprotección y la de Prevención de Riesgos Laborales en vigor, por lo que el parámetro del PLAN DE

AUTOPROTECCIÓN va a reforzar el Nivel de Protección Edificatorio. En cambio, en el Caso A, los acontecimientos pusieron de manifiesto que, bien el Plan de Autoprotección o la implantación del mismo, eran deficientes, ya que cuando acudió el personal privado de seguridad y posteriormente los bomberos, el fuego resultaba ya imposible de controlar. El Nivel de Protección Edificatorio resultaba ficticio, al no poder implantarse adecuadamente las medidas de seguridad edificatorias, por lo que el parámetro PLAN DE AUTOPROTECCIÓN va a tener una influencia devastadora en el resultado final del *MEREDICTE*.

El resultado final nos informa que el NIVEL DE PROTECCIÓN GLOBAL del Caso A, **0,18**, es muy bajo, del todo insuficiente para contrarrestar el PELIGRO POTENCIAL inherente a un EGA.

En cambio, el NIVEL DE PROTECCIÓN GLOBAL del Caso B, **4,74**, resulta muy elevado, y nos informa que puede resultar adecuado para afrontar de forma eficaz el PELIGRO POTENCIAL de un edificio de estas características.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Rubio Romero JC. Métodos de Evaluación de Riesgos Laborales. Madrid. Ediciones Díaz de Santos, 2.004. 272p. ISBN: 84-7978-633-7
- NFPA 551. Guide for the Evaluation of Fire Risk Assessments. Quincy. National Fire Protection Association, 2007. 29 p.
- Society of Fire Protection Engineers. Handbook of Fire Protection Engineering. Quincy. National Fire Protection Association, 2002.1604p. ISBN: 087765-451-4
- De Smet E. FRAME 2008 Theoretical basis and technical reference guide. 105 p.
- De Smet E. Handbook for the use of this Fire Risk Assessment Method for Engineering. Second edition. 1999. 22p.
- Fuertes Peña J, Rubio Romero JC. “Análisis comparativo de los principales métodos de evaluación del riesgo de incendio”. Revista del INSHT. Nº 25-2003, p.12-17.
- GREENER, M. Evaluación del riesgo de incendio. Método de cálculo Gretener. Madrid: Cepreven, 2.005. 58 p.
- Society of Fire Protection Engineers. Guia de Ingeniería SFPE de Protección contra Incendios Basada en la Eficacia. Análisis y Diseño de Edificios. Cepreven (traductor). Quincy. National Fire Protection Association, 2003. 204 p. ISBN: 84-85597-85-0