

# Jornada Técnica - Prevención de Incendios en la Comunidad de Madrid

---

**MADRID | 10 de junio de 2009**

---

---

---

---

## El diseño basado en prestaciones en la PCI

**Fernando Vigara, Ingeniero Industrial, PSFPE**

### INTRODUCCIÓN

El diseño basado en prestaciones, tanto en PCI como en los demás aspectos de la construcción regulados por códigos, se muestra en nuestros días como una aproximación novedosa para el diseño de todos los temas regulados, y muy en particular en lo que concierne a la seguridad contra incendios en edificios e industrias.

Sobre el diseño basado en prestaciones se precisa de un análisis con dos perspectivas: la relacionada con los códigos de construcción, y la puramente relacionada con el diseño técnico. Desde esta última, el diseño basado en prestaciones existe y es consustancial con los fines de la ingeniería desde siempre. Cuando un ingeniero civil o un arquitecto deben diseñar un puente, una carretera o un edificio, parten de unos determinados objetivos funcionales, tienen en cuenta los parámetros de seguridad exigidos por los códigos aplicables, y en su

proyecto dejan constancia, a través de la aplicación de conceptos universalmente aceptados, que sus diseños satisfacen tanto a los objetivos funcionales como a los requisitos legales.

La situación no puede ser diferente a la hora de diseñar, instalar y mantener los sistemas de PCI. El ingeniero de PCI parte de unos objetivos de protección, establece los criterios de aceptabilidad, selecciona los potenciales escenarios de incendio y diseña los posibles sistemas de protección que satisfagan los criterios de aceptación. Todo ello dentro de una metodología precisa y aplicando los conocimientos científicos que facilita la ingeniería de PCI.

Es sin duda, la inclusión del diseño basado en prestaciones dentro de los códigos constructivos, el aspecto que resulta realmente novedoso.

En nuestro país los sistemas de PCI, se han regulado tradicionalmente por reglamentos, ordenanzas, normas, etc., de carácter absolutamente prescriptivo, aunque bien es cierto que todos los códigos han incluido la cláusula de equivalencia, que permite al diseñador optar por soluciones alternativas, “siempre que la solución alternativa facilite un nivel de seguridad equivalente al requisito prescriptivo”. ¿Pero cómo se evalúa la seguridad equivalente, o incluso la simple seguridad? También hay que enfatizar que la aceptación de las soluciones alternativas ha sido discrecional por parte de la autoridad competente.

La realidad es que la entrada en vigor del CTE habilita el marco del diseño basado en prestaciones en España, ya que el CTE explicita que el cumplimiento de las **exigencias básicas** establecidas en el Código puede satisfacerse bien mediante la aplicación de los **documentos básicos** o bien aplicando soluciones alternativas. En este marco la discrecionalidad de la opción por soluciones alternativas parece corresponder al diseñador y no únicamente a la autoridad competente, como en el caso de los códigos puramente prescriptivos.

Así pues, el concepto del diseño basado en prestaciones aparece, en este entorno, como un concepto novedoso, e incluso revolucionario. ¿Para bien o para mal? ¿Puede contribuir la introducción del diseño basado en prestaciones en el CTE a mejorar los niveles de seguridad contra incendios, o por el contrario su utilización en un entorno poco profesionalizado podría contribuir a la adopción de medidas de PCI poco fiables y eficaces?

En principio debemos asumir que España tiene un gran problema para llevar adelante el proceso del diseño y aceptación de sistemas de seguridad contra incendios eficaces y fiables, debido a la inexistencia en la sociedad española de la ingeniería de PCI como profesión estudiada y regulada.

Así las cosas, en España, los diseñadores, arquitectos o ingenieros, se han limitado a la hora de redactar sus proyectos, hasta el día de hoy, a la aplicación estricta de los requisitos establecidos en los documentos reguladores: distancias máximas, número de extintores o BIEs, sistemas de detección y alarma, rociadores automáticos, etc., sin sentirse obligados ni posiblemente capacitados para evaluar las “prestaciones” que la implantación de los sistemas requeridos facilitan en materia de seguridad contra incendios.

Por el contrario, la situación es muy diferente en los países anglosajones, donde precisamente ha nacido el concepto del diseño y de los códigos basados en prestaciones. En estos países los estudios de ingeniería de PCI se imparten en las universidades como una especialidad más de las ingenierías y su ejercicio se encuentra regulado mediante diversos mecanismos que garantizan la competencia y responsabilidad de los profesionales que la practican.

La falta de profesionales de la ingeniería de PCI, incluso dentro del tradicional marco prescriptivo, ha puesto en evidencia en repetidas ocasiones la falta de fiabilidad y eficacia de

los sistemas implementados para satisfacer los requisitos establecidos en los códigos prescriptivos.

Se puede presumir que sin la presencia, en los diversos ámbitos de la sociedad, administraciones, entidades de inspección, usuarios, ingenierías, fabricantes, instaladores y mantenedores, aseguradores, etc., de profesionales competentes en ingeniería de PCI, resultará imposible adentrarse en el diseño prestacional si no es rozando o pisando los terrenos de la osadía y de la temeridad.

## ¿QUÉ ES LA INGENIERÍA DE PCI?

En nuestro país, en las ocasiones que desde APICI hemos denunciado la urgente necesidad de incorporar a los programas de formación de las universidades el programa de ingeniería de PCI, en algunos casos, parecería como si se hubiera herido la susceptibilidad de los diversos profesionales que mayoritariamente elaboran los proyectos de PCI, como simple incorporación de los requisitos prescriptivos: distancias de evacuación, resistencia al fuego, ventilación natural o forzada, medios manuales de extinción, sistemas de detección y supresión, etc., siempre dentro de lo que consideran legalmente exigible, con el menor coste para sus clientes, y sin un análisis específico de cada riesgo en particular.

Pero la realidad es tozuda y el día a día pone en evidencia que esa metodología presenta niveles serios de subdesarrollo en este campo, que se traducen posteriormente en incendios desastrosos en edificios que al parecer estaban al día en las obligaciones legales en PCI:

Resulta imposible la evaluación correcta del riesgo de incendio y su corrección, sea cual sea la meta de protección, personas, bienes, procesos o medioambiente, sin la intervención de la ingeniería de protección de incendios. Del mismo modo que sería impensable la existencia de un sistema adecuado de sanidad pública si no existiera la carrera de medicina y la especialización y regulación de su práctica por los médicos.

La industria de la protección contra incendios se encuentra en permanente desarrollo y cada día aparecen en el mercado nuevas tecnologías de prevención y protección contra incendios cuya adecuada selección, utilización y aprovechamiento precisan de profesionales con la capacidad necesaria para su evaluación y prescripción. Un código, por completo y exhaustivo que pretenda ser su redacción, no puede sustituir la imprescindible labor profesional del ingeniero de PCI.

Existen numerosas universidades en todo el mundo que imparten actualmente los estudios de grado, máster y doctorado en ingeniería de PCI.

A modo de ejemplo, en Estados Unidos el ejercicio profesional de ingeniero de PCI requiere además de la graduación universitaria del ingeniero al menos con un nivel de máster en ingeniería de PCI, la aprobación de un examen que realiza anualmente un organismo nacional de certificación, el NCEES ([www.NCEES.org](http://www.NCEES.org)), en el que el examinando debe demostrar sus conocimientos en las áreas de:

## I. Análisis en PCI (20%)

---

### A. Tipos de Análisis (12%)

1. Técnicas de análisis de peligros (Ej., Estimación de la severidad de un escenario de incendio)
2. Técnicas de análisis de riesgo (Ej., Probabilidad y consecuencias)
3. Técnicas de análisis económico (Ej., Coste beneficio, amortización)
4. Limitaciones en el análisis

### B. Fuentes de Información para el Análisis (8%)

1. Uso funcional y operativo de una planta (Ej., procesos industriales, ocupación, contenidos)
2. Límites aceptables (Ej., Temperaturas máximas, radiación, concentraciones de gas)
3. Códigos y estándares
4. Clasificación de la ocupación, riesgos y comodities
5. Métodos de prueba de incendio (Ej., Clasificación y características de productos y materiales)
6. Técnicas de interpretación de datos de pruebas de incendio.
7. Exposición (Ej., Distancias a riesgos)
8. Dibujos técnicos, esquemas y planos (Ej., documentos contractuales planos de taller, diagramas de ascendentes)

## II. Gestión de la Protección de Incendios (10%)

---

1. Capacidades y limitaciones de los diseños.
2. Procedimientos de análisis de defectos de sistemas.
3. Frecuencias de inspección y mantenimiento

## III. Ciencia del fuego y comportamiento humano (15%)

---

### A. Fire Dynamics (10%)

1. Comportamiento del fuego y del humo
2. Crecimiento del fuego
3. Combustión
4. Penacho de llamas (fire plume), entrada de aire y temperatura
5. Propiedades de los materiales (Ej., Calor de combustión, capacidad de ignición, límites térmicos, mecánicos, de inflamabilidad y explosión)

6. Compatibilidad de materiales (Ej., tipos de almacenamientos, reactivos al agua, etc.)
7. Transferencia de calor del fuego y del humo.

**B. Respuesta Humana (5%)**

1. Movimiento de evacuación
2. Capacidades de resistencia de las personas
3. Respuesta humana a las señales de incendio (Ej., alarma, humo, y calor)
4. Análisis de tiempos de evacuación.

**IV. Sistemas de protección activa(35%)**

---

**A. Sistemas de supresión por agua (12%)**

1. Criterios de diseño (Ej., requisitos de caudal y presión, densidades, areas de diseño)
2. Técnicas de cálculos hidráulicos.
3. Técnicas de dimensionamiento de tuberías.
4. Tipos de sistemas (Ej., tubería mojada y seca, pre-acción, espuma, agua nebulizada)
5. Componentes de los sistemas (Ej., tipo de rociadores, válvulas, detección de caudal, selección de materiales de tubería, soportes, etc.)
6. Ubicación (Ej., obstrucciones, consideraciones ambientales)
7. Abastecimiento de agua y distribución (Ej., público, privado, tanques de almacenamiento)
8. Bombas y controladores.

**B. Sistemas especiales (5%)**

1. Criterios de diseño
2. Método de diseño (Ej., inundación total o aplicación local)
3. Dimensionamiento de tuberías.
4. Tipos de sistemas (Ej., CO<sub>2</sub>, agentes limpios, polvo químico seco)
5. Componentes de los sistemas
6. Almacenamiento del agente extintor.
7. Seguridad personal
8. Controles (Ej. Sistemas de supervision y disparo)
9. Daños colaterales (Ej., productos de descomposición tóxicos o corrosivos)
10. Sistemas de enclavamiento (Ej., trampillas, procesos de desconexión y corte))
11. Métodos de prueba (Ej., prueba de estanqueidad, aspectos medioambientales)

## C. Sistemas de detección y alarma (9%)

1. Criterios de diseño (Ej., secuencia de operación, selección de dispositivos iniciadores y de espaciamiento)
2. Tipos de sistemas (Ej., analógicos, cableados, etc.)
3. Componentes de los sistemas
4. Dispositivos iniciadores (Ej., Tipo, posicionamiento, eficacia)
5. Efectos ambientales sobre la ubicación del dispositivo iniciador (Ej., velocidad del aire, temperatura)
6. Dispositivos notificadores (Ej., tipo, emplazamiento, eficacia, comunicación por voz)
7. Clasificación de circuitos y métodos de cableado
8. Supervivencia
9. Fuentes de alimentación
10. Funciones de control del edificio e interfaces (Ej., Llamada de ascensores, HVAC, control del humo, liberación de puertas, etc.)
11. Control remoto (Ej., Central de alarmas pública, privada, etc.)
12. Métodos de prueba (Ej., verificación secuencia de operaciones)

## D. Sistemas de control del humo (5%)

1. Criterios de diseño (Ej., objetivos, supervivencia de equipos, límites de presión)
2. Tipos de sistemas (Ej., escaleras presurizadas, control de humo por zonas, ventilación)
3. Componentes del sistema
4. Mecánica de flúidos (Ej., flujo de ventilación, “plug holing”)
5. Efectos ambientales (Ej., efecto chimenea, viento)
6. Mecanismos de iniciación
7. Fuentes de alimentación
8. Interfaces con otros sistemas (Ej., alarma de incendio, HVAC)
9. Métodos de prueba

## E. Sistemas de prevención y protección de explosiones (4%)

1. Criterios de diseño (Ej., presión máxima, ratios de venteo, concentración de agente)
2. Métodos de diseño (Ej., supresión, inertización, aislamiento, venteo)
3. Tipos de agente (Ej., gas, polvo, etc.)
4. Venteo (Ej., localización, dimensionamiento)
5. Componentes del sistema (Ej., construcción del recinto, suministro del agente, tuberías, configuración del venteo)
6. Seguridad personal
7. Controles (Ej., actuación, detección, disparo)

8. daños colaterales (Ej., estructuras adyacentes o expuestas)
9. Enclavamientos (Ej., trampillas, procesos de parada)
10. Métodos de prueba

## V. Sistemas de protección pasiva (20%)

---

### A. Construcción del edificio (12%)

1. Tipos de construcción (Ej., combustible, no-combustible, resistencia al fuego, estructura)
2. Materiales de construcción (Ej., techos, revestimientos, aislamientos)
3. Límites de altura y superficie
4. Distancias de separación entre edificios
5. Acabados interiores (Ej., ratio de propagación de la llama, flujo radiante crítico)
6. Resistencia estructural al fuego (Ej., métodos de cálculo, reglas de sustitución)
7. Compartimentación/separación
8. Aberturas verticales
9. Protección de aberturas (Ej., sellados, juntas, trampillas, puertas)

### B. Medios de evacuación (8%)

1. Criterios de diseño
2. Salidas (Ej., tipos, recorridos de evacuación, número, capacidad)
3. Componentes de los medios de evacuación (Ej., acceso a la salida, salida, descarga de la salida)
4. Detalles de los componentes (Ej., escaleras, pasillos, puertas, hardware)
5. Tipos de ocupación (Ej., concurrencia pública, prisiones, oficinas)
6. Carga de ocupantes
7. Iluminación de emergencia
8. Señalización de los medios de evacuación

---

Además el ingeniero profesional registrado de PCI debe someterse a un Código de Ética ([www.sfpe.org/Profession/Canon.aspx](http://www.sfpe.org/Profession/Canon.aspx)), por el que en su práctica se obliga: *a ejercer solamente en las áreas en las que es completamente competente, manifestando sus calificaciones al respecto, a manifestar con completa honestidad y veracidad a la hora de presentar los datos, sus estimaciones y conclusiones, a utilizar solamente aquellas herramientas y métodos de ingeniería apropiados para cada aplicación específica, etc.....*

## EL DISEÑO BASADO EN PRESTACIONES

El Diseño Basado en Prestaciones para la protección de incendios utiliza una metodología bien establecida para diseñar estrategias de seguridad en cualquier entorno basadas en **metas aceptadas, objetivos de diseño, criterios de eficacia/aceptación, escenarios de incendio y fuegos de diseño cuantificados**.

Las **metas** son normalmente declaraciones de intenciones de alto nivel relacionadas con la seguridad de las personas, la protección de bienes, la interrupción de las operaciones, la protección del medio ambiente, o la protección del patrimonio histórico y artístico.

Los **objetivos** son declaraciones más detalladas que describen cómo las metas pueden ser alcanzadas, típicamente presentadas en términos funcionales o de ingeniería.

Los **criterios de aceptación** son parámetros que pueden ser estimados, medidos o calculados para demostrar el cumplimiento de los objetivos de diseño (por ejemplo: temperatura máxima, mínimo nivel del estrato de humos sobre el suelo, límites de visibilidad, límites de toxicidad, etc.)

Los **escenarios de incendio** describen los posibles incendios que pueden desarrollarse, desde la ignición hasta la extinción, teniendo en cuenta las características de los combustibles, las características del edificio o el medio de transporte, los sistemas de protección contra incendios y las características de los ocupantes.

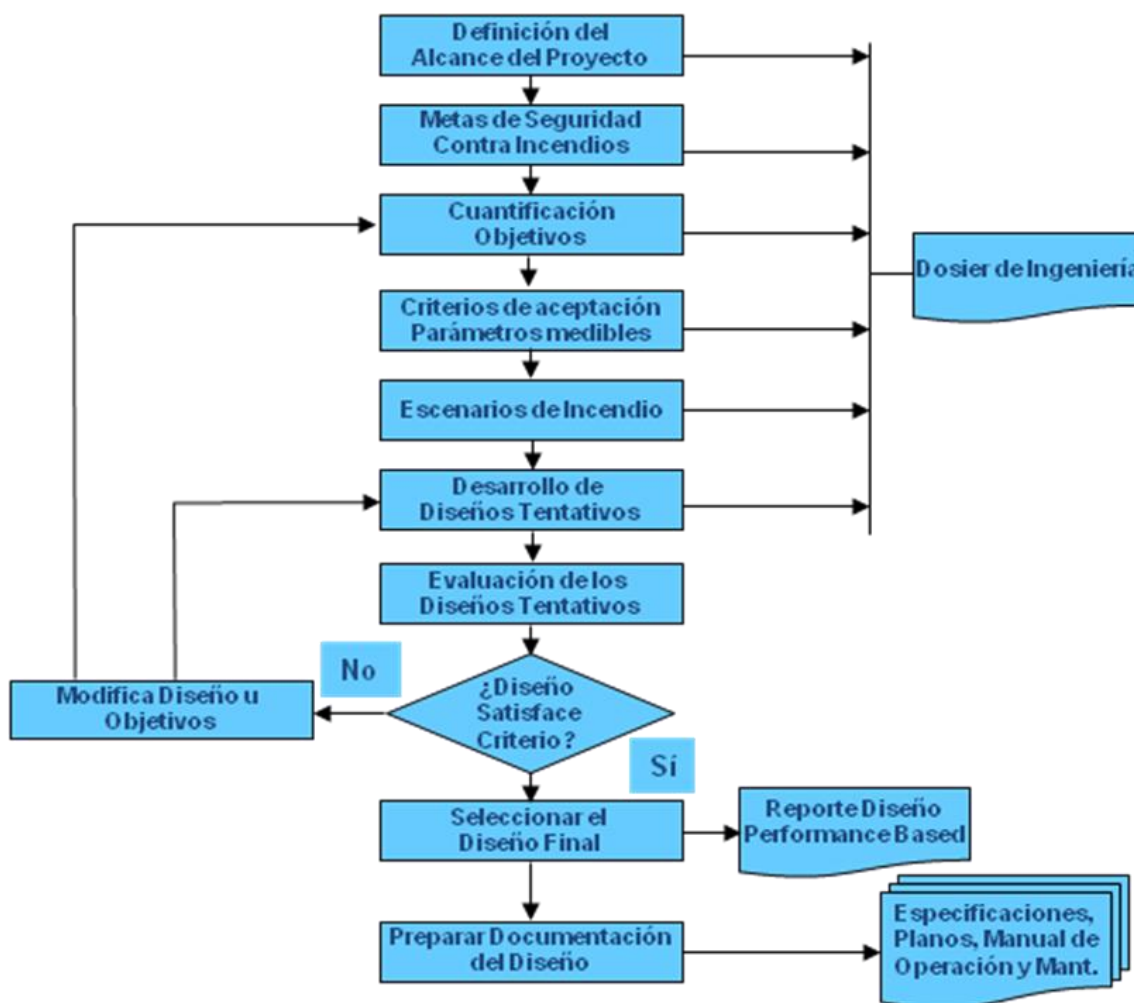
Los **incendios de diseño cuantificados** son las «cargas» utilizadas para evaluar, cualitativa y cuantitativamente, la eficacia de los sistemas de protección contra incendios y contrastarla con los criterios de aceptación fijados”.

Por tanto, el desarrollo del Diseño Basado en Prestaciones necesita de la precisión de cada uno de los conceptos definidos en los párrafos anteriores, bien mediante el consenso de las partes comitentes en el diseño (autoridades, propiedad, arquitecto, ingeniero de PCI, responsables de la explotación y mantenimiento del edificio, etc.), o bien mediante requisitos claramente establecidos en los códigos de aplicación.

Además, la consideración del proceso completo del Diseño Basado en Prestaciones, debe establecer una clara diferencia entre los aspectos cualitativos y cuantitativos.

Existen diversas Guías de Ingeniería que establecen el proceso, paso a paso, del diseño basado en prestaciones en PCI. Quizás la más conocida sea la publicada por la SFPE (Society of Fire Protection Engineers), *SFPE Engineering Guide to Performance-Based Fire Protection Analysis and Design of Buildings*.

La Guía SFPE facilita la comprensión del proceso e indica todos aquellos pasos a seguir por el diseñador, y que deben quedar claramente referenciados así como el establecimiento de la idoneidad de los autores del proyecto, métodos y herramientas aceptables, fuentes de datos, documentación del diseño, condiciones de mantenimiento, etc., y se sintetizan en el siguiente esquema:



Para no hacer demasiado larga la exposición sobre los pasos analizados en la Guía SFPE, analizaremos exclusivamente a lo que se entiende en el proceso por el diseño del sistema de protección de incendios.

El sistema de PCI diseñado de acuerdo con la metodología del diseño basado en prestaciones, y que debe ser probado en cuanto a si satisface o no a los requisitos en el proceso, se refiere al conjunto total de medidas de PCI que aportan el grado final de seguridad contra incendios a un edificio o establecimiento.

El sistema se subdivide generalmente en seis subsistemas, que deben ser evaluados y cuantificados con respecto a cada uno de los escenarios de incendio seleccionados:

- **Subsistema A: *Iniciación del fuego, desarrollo y control.***

En este subsistema debemos considerar los medios de PCI dedicados al control de la iniciación del incendio, tales como las medidas de prevención consistentes en eliminar o reducir la combustibilidad de los materiales presentes, eliminación y control de las fuentes de ignición, selección de los modos de almacenamiento, educación y entrenamiento de los ocupantes. Es decir medidas fundamentalmente preventivas.

- **Subsistema B: *Desarrollo , propagación y control del humo***

Este subsistema está integrado por los medios de control y evacuación del humo y su relación con el tiempo de evacuación de los ocupantes.

- **Subsistema C: *Desarrollo, propagación y control del fuego***

Incluye todo lo relacionado con la compartimentación, puertas y trampillas cortafuegos, dispositivos autocerrantes de puertas (muelles, eslabones fusibles, retenedores magnéticos, etc.)

- **Subsistema D: *Detección, alarma y supresión.***

Comprende los sistemas de protección activa tales como detección y alarma, supresión de incendios por medios manuales y automáticos, rociadores, agua pulverizada o nebulizada, sistemas de gas, polvo o espuma, etc.

- **Subsistema E: *Evacuación de ocupantes***

Vías de evacuación, señalización, entrenamiento, relación con los sistemas de detección y alarma, etc.

- **Subsistema F: *Intervención de los Bomberos***

Distancias y tiempos de acceso desde el parque de bomberos, medios de acceso y actuación disponibles para los mismos en el interior del edificio o industria.

Resulta intuitivo que cada subsistema representa una barrera de mitigación ante la posible ocurrencia de un incendio. El primer subsistema se focaliza en la prevención y limitación de la probabilidad o intensidad del inicio de un incendio. El segundo y tercero a la limitación de la propagación de los efectos del humo y del fuego sobre los ocupantes y el edificio. El cuarto a la detección y supresión del incendio. El quinto a la evacuación de los ocupantes al exterior o lugar seguro. Y finalmente el sexto a la intervención de los servicios exteriores de emergencia.

Cada subsistema debe ser evaluado y cuantificado en términos medibles de su capacidad mitigadora.

Asimismo se debe realizar un análisis de fallos en el que se evalúen la evolución de las consecuencias en el caso de fallo de cualquiera de los subsistemas.

## EL CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN (CTE) COMO CÓDIGO PRESTACIONAL.

El CTE en el Artículo número 11 de la Parte I establece el requisito básico Seguridad en Caso de Incendio:

*«..... consiste en reducir a límites aceptables el riesgo de que los usuarios de un edificio sufran daños derivados de un incendio de origen accidental, como consecuencia de las características de su proyecto, construcción, uso y mantenimiento».*

Para satisfacer este objetivo añade:

*«..... los edificios se proyectarán, construirán, mantendrán y utilizarán de forma que, en caso de incendio, se cumplan las exigencias básicas que se establecen en los apartados siguientes».*

Establece seis exigencias básicas (SI 1 a SI 6) que se estructuran de forma parecida a los subsistemas de protección establecidos en otros documentos internacionales de filosofía prestacional, como la SFPE Engineering Guide for Performance Based Fire Protection:

### **Exigencia básica SI 1: Propagación interior**

*Se limitará el riesgo de propagación del incendio por el interior del edificio, tanto al mismo edificio como a otros edificios colindantes.*

### **Exigencia básica SI 2: Propagación exterior**

*Se limitará el riesgo de propagación del incendio por el exterior, tanto en el edificio considerado como a otros edificios.*

### **Exigencia básica SI 3: Evacuación de ocupantes**

*El edificio dispondrá de los medios de evacuación adecuados para facilitar que los ocupantes puedan abandonarlo o alcanzar un lugar seguro dentro del mismo en condiciones de seguridad.*

### **Exigencia básica SI 4: Instalaciones de protección contra incendios**

*El edificio dispondrá 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.*

### **Exigencia básica SI 5: Intervención de bomberos**

*Se facilitará la intervención de los equipos de rescate y de extinción de incendios.*

## ***Exigencia básica SI 6: Resistencia estructural al incendio***

*La estructura portante mantendrá su resistencia al fuego durante el tiempo necesario para que puedan cumplirse las anteriores exigencias básicas.*

Aunque algún aspecto ha cambiado respecto a la definición del requisito básico tal y como estaba contemplado en la Ley de Ordenación de la Edificación, tal como la utilización del término *ocupante* en lugar de *usuario*, la identificación de la **meta** fundamental permanece: **la seguridad de las personas**.

La aceptación de un cierto nivel de riesgo también está presente, al igual que en otras reglamentaciones, asumiendo que el riesgo cero no es posible, pero la consideración por el CTE, exclusivamente de incendios de origen accidental, podría ser discutible.

Un análisis del Documentos Básico (DB-SI) revela el desarrollo de las seis exigencias básicas en términos básicamente prescriptivos:

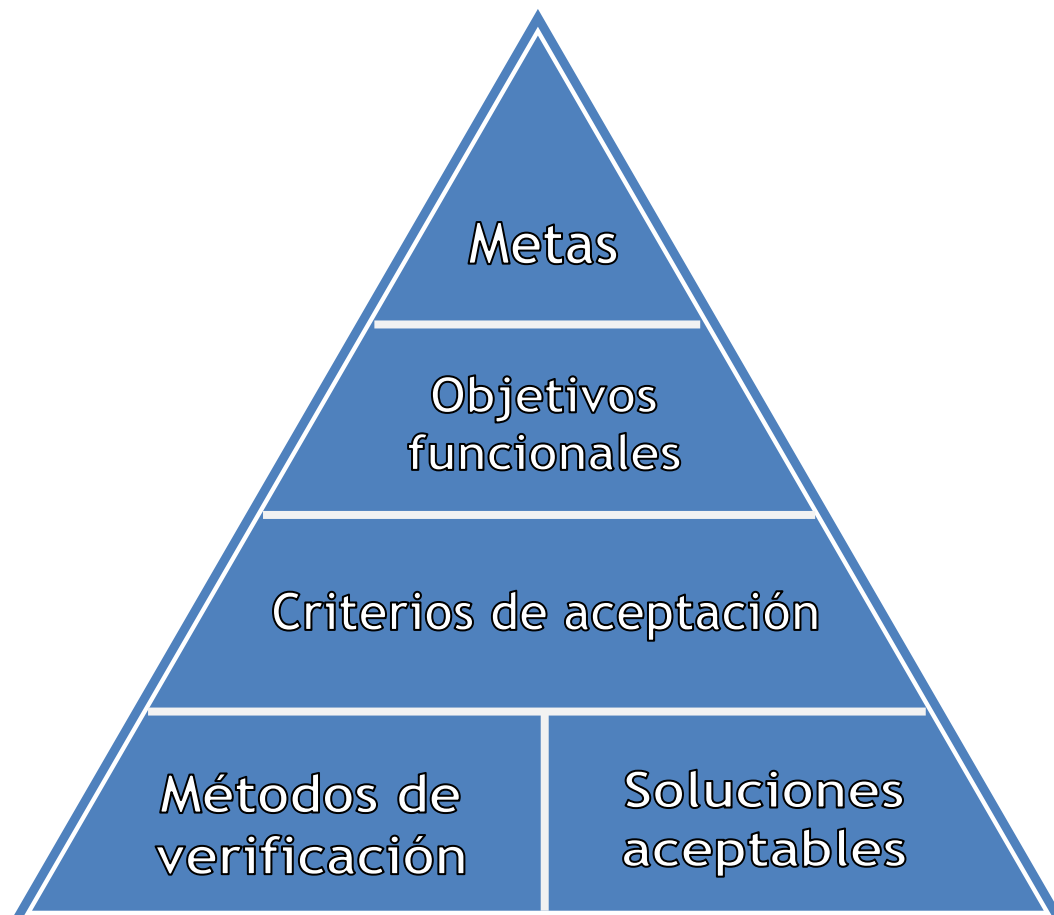
- El **DB-SI-1** define la compartimentación y los Locales de Riesgo Especial (LRE), estableciendo niveles de comportamiento ante el fuego y de resistencia de elementos constructivos. (Propagación interior)
- El **DB-SI-2** analiza la configuración de los edificios para evitar la propagación a través del exterior del incendio. (Propagación exterior).
- El **DB-SI-3** establece los medios de evacuación y las características de las mismas (distancias, anchuras de puertas, pasillos y escaleras, señalización...), incluyendo los sistemas de control de humo. (Evacuación de ocupantes y control del humo)
- El **DB-SI-4** es una relación de las instalaciones de protección requeridas, basándose en el uso, el tamaño y la altura de evacuación del edificio. (Detección y supresión).
- El **DB-SI-5** configura las condiciones para acceder a los edificios, facilitando la intervención de los equipos de intervención de bomberos. (Intervención de los Bomberos)
- El **DB-SI-6** determina los tiempos de resistencia de la estructura, en función del uso y altura de evacuación del edificio. (Resistencia estructural).

Aunque algunos aspectos contenidos en los DB derivan de una cierta clasificación de los edificios (uso, tamaño y altura de evacuación), la carencia de parámetros que conduzcan a una caracterización real, conlleva una falta de cuantificación.

Como ha señalado reiteradamente el Prof. Brian Meacham (Profesor del WPI y pionero en el desarrollo de los códigos prestacionales), en los orígenes de las reglamentaciones basadas en prestaciones, el enfoque de los legisladores estaba más centrado en los aspectos cualitativos y los requerimientos funcionales. Esto era una consecuencia de la falta de métodos disponibles pero, posiblemente, también la consecuencia de que un desarrollo prestacional en un entorno prescriptivo no desea depender de datos concretos, dejando libertad al juicio de ingeniería, imprescindible por otra parte en esta clase de diseño.

La pertenencia del Ministerio de la Vivienda de España al IRCC (*Inter-jurisdictional Regulatory Collaboration Committee*), demuestra el gran interés en desarrollar una adecuada y sólida estructura en nuestro país.

Tomando como base la jerarquía nórdica (simplificada) asumida por el IRCC, podemos analizar el grado de concurrencia con la actual situación española. A este respecto disponemos de dos matrices de la que tomaremos para el análisis de este trabajo la más simplificada:




---

#### Nivel 1: Metas

---

Las metas de protección, tal como se ha expuesto anteriormente, son intenciones en un nivel amplio de expresión de la política del regulador en términos de las expectativas de la sociedad sobre la seguridad que debe ofrecer el edificio. Por ejemplo, la seguridad de los ocupantes frente al riesgo de incendio. Podría ser, en términos más explícitos:

***“La protección de la vida los ocupantes frente al incendio, no íntimamente involucrados con el inicio del mismo”***

Las metas pueden encontrarse en los tres requisitos básicos establecidos en la Ley de Ordenación de la Edificación: Funcionalidad, Seguridad y Habitabilidad, identificándose, por tanto, en la comparación que hacemos con la *Jerarquía Nórdica* que tomamos como modelo, la correspondiente a la **Seguridad Humana en caso de Incendio**. Aunque si bien no queda expresada de una forma definida el alcance o nivel de esa seguridad, en términos como los expresados en el párrafo anterior.

Aunque las metas parecen claramente definidas en el CTE, no se establece una posible relación entre ellas que apunte a algunas interferencias que pueden parecer evidentes (por ejemplo, la funcionalidad puede estar vinculada directamente a la seguridad si analizamos la situación de una persona con discapacidad en condiciones de incendio)

---

## Nivel 2: Objetivos de funcionalidad

---

Los objetivos deberían expresar de forma explícita cómo conseguir la meta de la seguridad de los ocupantes frente al incendio. Por ejemplo:

***“Facilitar a los ocupantes no íntimamente involucrados con el inicio del incendio el tiempo adecuado para alcanzar un lugar seguro sin ser afectados por los efectos del incendio”***

Si bien este objetivo queda implícito en el Artículo 11 del CTE, ya comentado, se echa de menos una definición más trasladable a un desarrollo de ingeniería de PCI.

---

## Nivel 3: Requisitos operativos, criterios de eficacia o aceptación.

---

Deben definir de qué forma un edificio y sus sistemas deben comportarse para satisfacer una meta y los objetivos de funcionalidad. Un ejemplo podría ser:

***“Limitar la propagación del fuego al recinto de su origen; transmitir la alarma de incendio a los ocupantes; mantener las condiciones de sostenibilidad para la vida humana hasta que los ocupantes alcancen un lugar seguro”.***

En nuestra opinión el CTE a través de las seis exigencias básicas, ampliadas en la redacción de los DBs, establece estos requisitos operativos, aunque de una forma más adecuada para el diseño prescriptivo que para el diseño basado en prestaciones.

---

## Nivel 4: Verificación

---

Instrucciones o guías para la verificación del cumplimiento de los objetivos de funcionalidad y de los requisitos operativos.

Un sistema regulador que desee habilitar el diseño basado en prestaciones se muestra inoperativo sin la existencia de métodos y criterios de aceptación adecuados para la evaluación de los diseños.

Se debe disponer de métodos aprobados que permitan la evaluación de parámetros medibles en términos de temperatura, tiempos, toxicidad, visibilidad, etc., y de criterios de aceptación.

Estos métodos y parámetros no tienen porqué ser una parte del Código, sino que pueden encontrarse en documentos referenciados por el mismo, tales como Guías, Códigos de Práctica, Normas, etc.

El CTE no proporciona métodos concretos de evaluación o estándares que faciliten el proceso. Aunque se han desarrollado programas informáticos en el campo del Ahorro de Energía (LIDER y CALENER), no así en lo que se refiere a la Seguridad en caso de incendio. Tampoco se han publicado guías.

---

## Nivel 5. Ejemplos de soluciones aceptables

---

Soluciones aceptables que deben ser formuladas como suplementos al Código, que han demostrado el cumplimiento del Código o que son consideradas como satisfactorias para el cumplimiento de las exigencias establecidas por el mismo.

Las soluciones aceptables pueden ser de tipo puramente prescriptivo, o soluciones alternativas basadas en el diseño prestacional, que han sido desarrolladas y probadas, y que son recogidas por el Código.

El CTE contiene un conjunto de soluciones de tipo prescriptivo recogidas en los Documentos Básicos, DB-SI-1 al DB-SI-6 que permiten su cumplimiento, aunque dentro de un marco puramente prescriptivo.

En resumen desde el punto de vista del diseño basado en prestaciones, la única meta establecida en el CTE es la seguridad humana, y esta se desarrolla a través de un único objetivo o declaración funcional.

Esa consideración alienta el interrogante sobre la proporción entre este objetivo único y los requerimientos prescriptivos contenidos en el DB-SI, ya que estos últimos parecen más una respuesta global a este y otros objetivos no definidos, algo así como una respuesta media a un riesgo medio.

Analizando el contenido del DB-SI, se pueden observar diferentes niveles de precisión. Esto ocurre no solamente entre las partes sino dentro de cada una de ellas, siendo particularmente significativo en el DB-SI-4, referido a las instalaciones de protección contra incendios.

Considerando que los sistemas activos juegan un papel fundamental en cualquier diseño basado en prestaciones, algunos requerimientos parecen excesivamente genéricos. Es el caso de lo que se denomina un “sistema automático de extinción” (que permite duplicar la superficie de un sector), que permitiría al diseñador elegir entre soluciones tan dispares como un sistema de rociadores automáticos o un sistema de extinción con un agente gaseoso.

La poca relación entre las diferentes partes del documento DB-SI tampoco facilita una evaluación comparativa de las diferentes estrategias, tan necesaria a la hora de cuantificar y proponer equivalencias.

Entendemos que el CTE para que pueda ser utilizado en lo referente a las condiciones de protección de incendios en la edificación debe solucionar un conjunto de carencias que presenta en su actual redacción:

## DEFINICIÓN DE LOS ESCENARIOS DE INCENDIO

Una de las carencias más destacables en el CTE, y a nuestro juicio fundamental, es la **falta de definición de escenarios de incendio** frente a los que los sistemas de protección puedan y deban ser evaluados para satisfacer las metas, objetivos y criterios de aceptación.

Sin la definición de los escenarios de incendio ante los que el sistema de protección, integrado por los diversos subsistemas, debe satisfacer el criterio de aceptación establecido, no es posible la evaluación del nivel de prestación del edificio frente al concepto genérico de incendio.

Tal como se establece en la definición de diseño basado en prestaciones:

*Los escenarios de incendio describen los posibles incendios que pueden desarrollarse, desde la ignición hasta la extinción, teniendo en cuenta las características de los combustibles, las características del edificio o el medio de transporte, los sistemas de protección contra incendios y las características de los ocupantes.*

El Código *NFPA 101 Life Safety Code (edición 2009)* incluye ocho escenarios de incendio que se proponen para su uso en las soluciones de diseño basado en prestaciones dentro del marco del CTE:

### **Escenario de incendio 1**

*Escenario de incendio representativo de un incendio típico de la ocupación*

*Debe tener en cuenta, explícitamente, lo siguiente:*

- *Actividades de los ocupantes*
- *Número y localización*
- *Tamaño del recinto*
- *Mobiliario y contenidos*
- *Las propiedades de los combustibles y las fuentes de ignición*
- *Las condiciones de ventilación*
- *La identificación del primer elemento implicado en el incendio y su localización*

### **Escenario de incendio 2**

*Es un fuego de crecimiento ultra-rápido, en un medio primario de evacuación, con las puertas interiores abiertas al comienzo del incendio.*

*Destinado a contemplar una reducción en el número de medios de evacuación disponibles.*

### **Escenario de incendio 3**

*Es un fuego que se origina en un recinto normalmente desocupado, con el potencial de poner en peligro a un gran número de ocupantes en un gran recinto o en otra área.*

*Destinado a contemplar un incendio que se inicia en un recinto normalmente desocupado que se extiende al espacio que potencialmente puede contener el mayor número de ocupantes del edificio.*

### **Escenario de incendio 4**

*Es un fuego que se origina en un espacio confinado en un muro o falso techo adyacente a un gran recinto ocupado.*

*Destinado a contemplar un incendio que se origina en un espacio confinado que no dispone de un sistema de detección o de un sistema de extinción automática y que se extiende al recinto que en el edificio puede contener potencialmente el mayor número de ocupantes.*

### **Escenario de incendio 5**

*Es un fuego de crecimiento lento, no alcanzable por los sistemas de protección de incendios y muy cercano a un área de ocupación elevada.*

*Destinado a contemplar una fuente de ignición relativamente pequeña que ocasiona un incendio considerable.*

### **Escenario de incendio 6**

*Es el fuego más severo, resultado de la mayor carga de combustible característico del funcionamiento normal del edificio.*

*Destinado a contemplar un incendio desarrollado rápidamente con presencia de ocupantes.*

### **Escenario de incendio 7**

*Es un fuego procedente del exterior.*

*Destinado a contemplar un incendio iniciado en un lugar alejado del área estudiada ya sea propagándose en el área, bloqueando la salida desde el área o desarrollando condiciones insostenibles dentro del área.*

### ***Escenario de incendio 8***

*Es un fuego que se origina en combustibles ordinarios en un recinto o área en los que todos los sistemas de protección contra incendios, activos y pasivos, resultan independientemente inefectivos.*

*Destinado a contemplar el fallo o la no disponibilidad de cada uno de los sistemas o características de protección contra incendios, considerados individualmente.*

Deberían ser tenidas asimismo en cuenta, las consideraciones previas que sobre los escenarios de incendio quedan establecidas en el propio Código NFPA 101:

- a. Los escenarios seleccionados como escenarios de diseño de incendio deben incluir, pero no limitarse a los descritos.
- b. Los escenarios de incendio que el equipo de diseño demuestre como inapropiados, a satisfacción de la autoridad competente, para las condiciones y el uso del edificio no deberán desarrollarse totalmente.

---

## **CUANTIFICACIÓN DE LOS INCENDIOS DE DISEÑO**

---

La cuantificación de incendios de diseño determina las cargas utilizadas para cualitativa y cuantitativamente evaluar la eficacia de los sistemas de protección contra incendios y contrastarla con los criterios de aceptación.

Cada escenario de incendio debe ser asociado con un incendio de diseño<sup>(12)</sup>. Los parámetros de definición pueden incluir:

- Tasa de crecimiento del incendio (típicamente  $Q=at^2$ ).
- Densidad energética de la carga de fuego.
- Tasa máxima de liberación de calor.
- Tasa neta de combustión.
- Generación de productos de combustión (CO, humo, etc.).

Una buena referencia para caracterizar los fuegos de diseño puede ser la base de datos de ensayos del NIST ([www.nist.gov](http://www.nist.gov))

---

## **CARACTERÍSTICAS DE LOS OCUPANTES**

---

Algunos aspectos de la conducta humana, como los contemplados en la *SFPE Engineering Guide for Performance Based Fire Protection (2<sup>nd</sup> edition)*, deben ser tenidos en cuenta para desarrollar una estructura prestacional. Para analizar las características de los ocupantes es necesario definir escenarios de incendio considerando edades, sexos, movilidad, estado de alerta, conocimiento, etc.

Se deben considerar:

- Número y distribución.
- La conducta humana.
- Características de la respuesta.
- Limitaciones físicas y mentales.
- Evaluación de tiempos de evacuación.

---

## CRITERIOS DE ACEPTACIÓN PARA DISEÑO

---

No es posible ningún tipo de evaluación sin la definición de un criterio de aceptación acordado, en términos de parámetros medibles y calculados. Cuando el CTE se refiere a «límites aceptables», establece un valor excesivamente vago para la evaluación.

Los parámetros de criterio de aceptación pueden ser extraídos de diferentes fuentes de solvencia y reconocimiento internacionalmente aceptadas: *SFPE Engineering Guide for Performance Based Fire Protection (2<sup>nd</sup> edition)*, *Handbook* de la SFPE, *International Fire Engineering Guidelines, BS7974, SFPE Engineering Guides*.

A modo de ejemplo, algunos valores típicos para estos parámetros, dependiendo de la fuente seleccionada pueden ser:

- Altura mínima del estrato de humo (ej: 2,5 m).
- Máxima temperatura del estrato de humo: (ej: 200° C).
- Visibilidad (ej: no menor de 5 m).
- Partículas (ej: no más de 0,5 g/m<sup>3</sup>).
- Movilidad de ocupantes. (SFPE Handbook Secc.03-13)
- Evaluación de la “*respuesta razonable*” de los Bomberos en función de distancia y medios existentes en el edificio para su uso (columnas secas, mangueras, hidrantes, rociadores automáticos, etc.).

---

## MÉTODOS DE EVALUACIÓN

---

Deben ser considerados de acuerdo con la Autoridad Competente, pero la *SFPE Code Official's Guide to Performance-Based Design Review* o las *International Fire Engineering Guidelines* se pueden considerar como buenas referencias.

El análisis ASET/RSET (*Tiempo disponible para una evacuación segura versus Tiempo requerido para una evacuación segura*), podría ser considerado como un método de evaluación adecuado dentro del marco del CTE.

Los modelos computacionales del comportamiento del fuego y de movimiento de ocupantes, son una herramienta de uso frecuente, pero su utilización debe siempre ser considerada con las mayores cautelas en función de lo apropiado del modelo para la aplicación, la experiencia y autoridad profesional del usuario, y la validación ulterior de los resultados. El modelo de

fuego del NIST, de uso libre, FDS 5.0 (*Fire Dynamics Simulator*) es universalmente utilizado. ([www.nist.gov](http://www.nist.gov)).

---

## ANÁLISIS DE FALLOS Y DE INCERTIDUMBRES

---

El desarrollo de un diseño basado en prestaciones debe tener siempre en cuenta las incertidumbres y posibles fallos involucrados en el diseño. Si se utiliza por ejemplo, un sistema de protección activa para reemplazar un conjunto de requerimientos prescriptivos en protección pasiva, no es admisible otorgar a los primeros un nivel de fiabilidad absoluto a criterio discrecional del proyectista.

---

## DOCUMENTACIÓN DE LOS DISEÑOS Y REVISIONES “PEER REVIEW”

---

Los diseños realizados dentro de una metodología basada en prestaciones deberían siempre contar con un dossier estructurado en el que se documentasen, **de forma solventemente referenciada**, al menos los siguientes puntos:

- Resumen del contenido.
- Alcance del proyecto.
- Relación de compromisarios.
- Características principales del edificio.
- Características principales de los ocupantes.
- Objetivos generales.
- Riesgos y medidas de prevención y protección disponibles.
- Diseños tentativos para evaluación.
- Aspectos de “no cumplimiento”, metas y objetivos específicos.
- Métodos de análisis.
- Criterios de aceptación o eficacia y factores de seguridad utilizados para el análisis.
- Escenarios de incendio y fuegos de diseño.
- Parámetros de diseño para grupos de ocupantes.
- Normas de construcción, inspección y pruebas, operación, uso y mantenimiento.
- Conclusión.

Así mismo un diseño prestacional de cierta complejidad debería pasar siempre por un proceso “peer review” en el que un equipo independiente igualmente cualificado (justificadamente) que el diseñador, para el diseño prestacional, hiciese una revisión completa del proyecto paso a paso añadiendo su conformidad al diseño o estableciendo sus discrepancias y cautelas adicionales.

## CONCLUSIONES

- I. El CTE no solamente permite sino que alienta en su Parte 1., el desarrollo del diseño basado en prestaciones. Se debería por tanto hacer un esfuerzo urgente por completar las herramientas que permitieran de forma eficaz y fiable el uso de este tipo de diseño.
- II. La práctica de la ingeniería de protección de incendios en el marco prescriptivo y en el prestacional, muy especialmente en este último precisa de conocimientos profesionales adecuados propios de una educación universitaria específica. España como miembro del IRCC suscribió el compromiso de impulsar este tipo de estudios y desarrollo profesional.
- III. Creemos que es la comunidad de ingeniería de PCI la que, a través de grupos de trabajo en sus asociaciones profesionales, debería elaborar guías y criterios de trabajo. Así se ha trabajado en otros países miembros del IRCC tal como Estados Unidos, donde la SFPE ha elaborado un buen número de guías y manuales para el diseño. (En España APICI integra el Capítulo Español de SFPE).
- IV. No parece viable ni recomendable que desde la administración se intente regular este tipo de diseño a través de documentos legales complementarios de diseño prestacional, conformando finalmente un marco “pseudoprescriptivo”, difícil y contrario a los fines del diseño basado en prestaciones.
- V. Asumiendo que la caracterización de los edificios y de sus ocupantes, la definición de los escenarios de incendio y los incendios de diseño, y el establecimiento de los criterios de eficacia son la base para la cuantificación en el desarrollo de un diseño prestacional, parecería oportuno que la actual redacción del texto del CTE se completara con algún documento que las definiera o, alternativamente, mencionara otras referencias que pudieran ser utilizadas.
- VI. Como ejemplo, Italia ha publicado recientemente la *Direttive per l'attuazione dell'approccio ingegneristico alla sicurezza antiincendio*, en la que se hace referencia a la posibilidad de utilizar valores obtenidos de documentos técnicos como la ISO/TR 13387 y BS 7974.
- VII. Finalmente, otros aspectos podrían completar el futuro panorama del Diseño Basado en Prestaciones en nuestro país, tal como la aceptación de métodos para evaluar la incertidumbre de los diseños o de una completa estructura de verificación de los mismos.