

# **EL NUEVO CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN Y LA RESTAURACIÓN ARQUITECTÓNICA**



Consejo Superior  
de los Colegios de Arquitectos  
de España

# EL NUEVO CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN (CTE) Y LA RESTAURACIÓN ARQUITECTÓNICA PRIMERA FASE: ESTADO DE LA CUESTIÓN.

## Índice

---

### 1. PRESENTACIÓN

### 2. CONSIDERACIONES JURÍDICO-TÉCNICAS PREVIAS

- 2. 1.- La L.O.E.
- 2. 2.- El C.T.E.
- 2. 3.- La Ley de Patrimonio Histórico Español

### 3. EL MODO DE APLICACIÓN DEL CÓDIGO TÉCNICO A LOS EDIFICIOS EXISTENTES (PROTEGIDOS O NO) Y SU OBLIGATORIEDAD.

- 3.1 Ahorro de energía (HE)
- 3.2 Protección contra el ruido (HR)
- 3.3 Salubridad (HS)
- 3.4 Seguridad de utilización (SU)
- 3.5 Seguridad en caso de incendio (SI)
- 3.6 Seguridad estructural (SE)

### 4. DOCUMENTOS BÁSICOS DE HABITABILIDAD

- 4.1. Protección frente al ruido (HR)
- 4.2 Salubridad (HS)
  - Muros enterrados
  - Fachadas

### 5. DOCUMENTOS BÁSICOS DE SEGURIDAD DE UTILIZACIÓN E INCENDIO

- 5.1 Seguridad de utilización (SU). SU1. Seguridad frente al riesgo de caídas.
  - 5.1.1. Riesgo debido al material. Resbaladicidad de los suelos.
  - 5.1.2. Riesgo debido a la forma
    - Discontinuidad en el pavimento.
    - Desniveles.
    - Escaleras y rampas.
- 5.2 Seguridad en caso de incendio (SI)

### 6. DOCUMENTOS BÁSICOS DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL (SE)

- 6.1 Los ámbitos de aplicación de los diferentes documentos
- 6.2. El Anejo D. Evaluación estructural de edificios existentes
  - 6.2.1 Los poco frecuentes edificios incluidos en el ámbito de aplicación

6.2.2. Las evaluaciones cuantitativas o cualitativas

La imposible evaluación cuantitativa

La poco probable evaluación cualitativa.

6.2.3 Una observación corta pero muy importante

**6.3 El documento sobre Seguridad Estructural: Fábrica. SE-F.**

6.3.1. Sobre el ámbito de aplicación

Del SE-F

Del Eurocódigo 6

6.3.2. La altura de cálculo o efectiva

En el SE-F

En el Eurocódigo 6

6.3.3 La resistencia frente a las acciones horizontales

6.3.4 Sobre la el factor de reducción por esbeltez

6.3.5 Comparación del E-6 con la NBE-FL90 (1)

Factor reductor de la capacidad portante  $\phi_m$  del EC-6, para excentricidad nula

Transformación de  $\eta$  (NBE-FL) en  $\phi_m$  (EC-6)

Tabla comparativa

6.3.6 Conclusión

**6.4 El documento Básico Seguridad Estructural: Madera SE-M**

6.4.1 La asignación de las propiedades mecánicas de la madera aserrada.

6.4.2. La experiencia de los últimos años

Según el texto “Intervención en estructuras de madera”

Según el texto “Evaluación de la capacidad portante de piezas de gruesa escuadría de madera de conífera en estructuras existentes”

6.4.3. Conclusiones

**6.6 Consideraciones sobre el DB Seguridad Estructural: Cimentaciones**

**6.6 Conclusión general sobre el DB SE**

## **7. CONCLUSIONES**

7.1. Los DB de cumplimiento obligado no resuelven los problemas planteados por las obras a realizar en edificios de carácter histórico

7.2 La solución más apropiada puede ser desarrollar un Documento Reconocido específico para las obras a realizar en edificios de carácter histórico

7.3 Los capítulos del Documento Reconocido correspondientes a cada uno de los DB deberán desarrollar, por lo menos, los siguientes aspectos.

## 1. PRESENTACIÓN

En carta enviada al abajo firmante de de 6 de julio de 2006, D. Carlos-Vidal Sanz Ceballos notificó el encargo por parte del Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España del informe “El nuevo Código Técnico de la Edificación (CTE) y la Restauración Arquitectónica. Primera fase: estado de la cuestión.” a D. José Luis González Moreno-Navarro, doctor arquitecto y catedrático de construcción arquitectónica en la Escuela de Arquitectura de Barcelona.

El 12 de septiembre de 2006 se mantuvo en la sede del Consejo una reunión con D. Manuel Fortea Luna en la que se precisaron algunos aspectos pendientes del encargo, entre otras cuestiones, los tipos de edificios que debe abarcar el estudio como consecuencia del concepto de restauración.

Se acordó que fueran tanto los edificios catalogados (o susceptibles de serlo) como los conjuntos urbanos. Por extensión, cabe incluir los edificios no catalogables pero con características propias de la mayoría de edificios catalogados históricos, es decir, estructuras de obra de fábrica, etc.

El presente documento es el que da respuesta al encargo y ha sido elaborado por D. José Luis González Moreno-Navarro, D. Albert Casals Balagué, doctor arquitecto y profesor titular de construcción arquitectónica en la Escuela de Arquitectura de Barcelona y D. Javier Sanz Prat, arquitecto y doctorando, todos ellos adscritos al Departamento de Construcciones Arquitectónicas I de la Universitat Politècnica de Catalunya, conjuntamente con el equipo dirigido por D. José Luis Pérez López de «Pérez López Abogados Asociados, S.L.», especialistas en temas de edificación y urbanismo.

Barcelona, 16 de noviembre de 2006

Firmado, José Luis González Moreno-Navarro

## **2. CONSIDERACIONES JURÍDICO-TÉCNICAS PREVIAS**

### **2. 1.- La L.O.E.**

Aunque el presente trabajo, "El nuevo Código Técnico de la Edificación y la Restauración Arquitectónica. Primera fase: estado de la cuestión", tiene como ámbito matricial el patrimonio arquitectónico histórico monumental y la restauración arquitectónica del mismo, a partir de la entrada en vigor del C.T.E., resulta conveniente contextualizarlo en la incidencia del expresado Código sobre el parque edificado.

Sabido es que conforme al art. 2º de la Ley de Ordenación de la Edificación tienen la consideración de edificación, a los efectos de lo dispuesto en la propia Ley y en su emanación reglamentaria, el C.T.E., junto a las obras de edificación de nueva construcción, las de "ampliación, modificación, reforma o rehabilitación que alteren la configuración arquitectónica de los edificios". Entendiendo que concurre tal alteración cuando se produzca:

- a) Una intervención total en los edificios.
- b) Una intervención parcial que genere una variación esencial de:
  - b1) La composición general exterior.
  - b2) La volumetría.
  - b3) El conjunto del sistema estructural.
- c) Una intervención que tenga por objeto cambiar los usos característicos de los edificios.

Tienen asimismo idéntica consideración, en relación con las edificaciones catalogadas o que dispongan de algún tipo de protección de carácter ambiental o histórico-artístico, regulada a través de norma legal o documento urbanístico:

- a) La intervención total en el edificio protegido.
- b) La intervención parcial cuando afecte a los elementos o partes objeto de protección. Debiendo entenderse que para las restantes partes o elementos de la edificación que no resulten protegidas, será aplicable lo dispuesto anteriormente para las edificaciones no sujetas a protección.
- c) Aunque se omita en el apartado c) del art. 2.2 de la L.O.E., tendrán idéntica consideración todas intervenciones en edificio protegido que tengan como razón cambiar los usos característicos.

La conceptualización de las obras relacionadas como edificaciones, a efectos de la L.O.E., supone: 1º) La exigencia de proyecto en los términos establecidos en el art. 4º de la propia norma; 2º) El cumplimiento de unos requisitos básicos de la edificación relativos a la funcionalidad, seguridad y habitabilidad, conforme a las normas básicas y a las demás reglamentaciones técnicas de obligado cumplimiento en el momento de la entrada en vigor de la L.O.E. (a los seis meses de su publicación el 6/11/99), hasta su sustitución por el Código Técnico de la Edificación (disposición final 2ª de la L.O.E.); y 3º) El cumplimiento de las restantes disposiciones que resulten de aplicación de la propia Ley. Los efectos señalados en los apartados 1º y 3º, serán aplicables a los expedientes iniciados a partir de la entrada en vigor de la L.O.E.

## 2. 2.- EI C.T.E

En ejercicio de la autorización contenida en la disposición final segunda de la L.O.E., el Gobierno ha aprobado el Código Técnico de la Edificación, mediante R.D. 314/2.006, de 17 de marzo.

Conforme a lo autorizado el Código regula las exigencias básicas de calidad que deben cumplir los edificios para satisfacer los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad, quedando fuera del mismo los relativos a la funcionalidad, que deberán regirse por su normativa específica.

De acuerdo con lo dispuesto en su art. 2, el C.T.E. será de aplicación, en los términos establecidos en la L.O.E., a las edificaciones públicas y privadas cuyos proyectos precisen disponer de la correspondiente licencia o autorización legalmente exigible, cuando se trate de obras de edificación de nueva construcción (salvo las excepciones recogidas en el apartado segundo del art. 2 que referimos) o de ampliación, modificación, reforma o rehabilitación que se realicen en edificios existentes, siempre y cuando dichas obras "sean compatibles" con la naturaleza de la intervención. Aunque el párrafo resulta, en su literalidad, de difícil entendimiento, parece que deberá interpretarse en el sentido de que el cumplimiento de las exigencias básicas del C.T.E. será preceptiva si las obras de adaptación precisas fueran compatibles con la naturaleza de la intervención proyectada.

La posible incompatibilidad en la aplicación de las medidas necesarias para satisfacer los requisitos de seguridad y habitabilidad, deberá justificarse en el proyecto constructivo, de manera suficiente y, en su caso, compensarse con medidas alternativas, técnica y económicamente viables.

Deberá tratarse, en todo caso, de obras que alteren la configuración arquitectónica de los edificios, en los términos contemplados en el art. 2 de la L.O.E. y que cuando se refieran a intervenciones parciales, deberán suponer una variación esencial en las fachadas, en la volumetría o en el conjunto del sistema estructural del edificio o que tengan por objeto cambiar el uso característico del mismo (aunque no implique necesariamente la realización de obras).

La compatibilidad entre las obras proyectadas y las requeridas para la adecuación del edificio a las exigencias básicas podrá corresponder tanto al orden técnico, como al orden económico.

Respecto a este último es evidente que el límite de compatibilidad lo encontraremos en el concepto de "ruina económica", esto es, cuando la intervención de adecuación tenga un coste superior al 50 por 100 del valor actual de la construcción. Si bien algunas legislaciones autonómicas vigentes han sustituido el concepto de valor actual (esto es, aquel corregido por los factores de antigüedad y estado de conservación) por el valor de reposición, limitando así las opciones de ruina.

Respecto a la incompatibilidad técnica, no parece que sea preciso buscar más argumentos que los contenidos en el art. 2 de la L.O.E. y que hemos expuesto más arriba, aunque posiblemente podrán utilizarse, asimismo, conceptos y elementos procedentes de la ruina económica (daños no reparables técnicamente por medios normales), no obstante, los progresos técnicos hacen que hoy día sean "normales" la mayor parte de las acciones de adecuación que puedan emprenderse. Quizás por ello algunas de las legislaciones urbanísticas vigentes en nuestras Comunidades Autónomas han suprimido el supuesto de la ruina técnica, subsumiéndola en la económica.

Debe mencionar que, en todo caso, deberán cumplirse las exigencias básicas del C.T.E. cuando pretenda cambiarse el uso característico en edificios existentes:

a) Aunque no implique obras.

b) Aunque su coste supere el 50% del valor del edificio y aunque deban utilizarse medios no normales.

c) La imposibilidad de cumplir las exigencias básicas conllevará la necesaria denegación de la licencia que al efecto se solicite.

Por último debe recordarse que se conceptuará como rehabilitación integral (intervención total) y, por tanto, deberá adaptarse a la totalidad de las exigencias básicas del C.T.E., la intervención en un edificio de viviendas o en el que se pretendan crearlas o ampliarlas, que tengan por objeto la adecuación estructural (con la finalidad de proporcionar al edificio condiciones de seguridad constructiva) y la adecuación funcional (para conseguir mejoras en las condiciones de habitabilidad e incluso de supresión de barreras y la promoción de la accesibilidad).

## **2. 3.- La Ley de Patrimonio Histórico Español**

En cuanto a los edificios catalogados o con algún tipo de protección ambiental o histórico-artística, regulada a través de norma legal o disposición de ordenación territorial o urbanística, la C.T.E. es de aplicación (en cuanto a las obras, asimismo, de ampliación, modificación, reforma o rehabilitación) siempre y cuando las obras de adecuación que conlleve la aplicación del Código, sean compatibles con el grado de protección de los edificios afectados o de la parte o elementos de los edificios afectados.

El art. 39 de la Ley de Patrimonio Histórico Español, de aplicación a los bienes de interés cultural (B.I.C.) con protección estatal, establece en su apartado 2 que:

"En el caso de los bienes inmuebles, las actuaciones a que se refiere el párrafo anterior irán encaminadas a su conservación, consolidación y rehabilitación y evitarán los intentos de reconstrucción, salvo cuando se utilicen partes originales de los mismos y pueda probarse su autenticidad. Si se añadiesen materiales o partes indispensables para su estabilidad o mantenimiento las adiciones deberán ser reconocibles y evitar confusiones miméticas".

Tal y como aduce la STS de 16 de octubre de 2.000 (fundamento IV), la ley claramente establece un límite de tipo positivo: que las intervenciones en los inmuebles vayan dirigidas a su conservación, consolidación y rehabilitación; y otro negativo, evitar la reconstrucción.

Este límite negativo tiene su excepción, la de que se utilicen partes originales de los mismos y pueda probarse su autenticidad. Pero ha de interpretarse esta excepción en sentido restrictivo, no sólo ya porque así lo imponen todos los principios que acerca de la conservación de los inmuebles incluidos bajo el ámbito de la Ley se recogen en ésta, sino porque la regla general es la prohibición de reconstrucción.

La Ley prevé que en estos supuestos de reconstrucción si se añadiesen materiales o partes indispensables para su estabilidad o mantenimiento las adiciones deberán ser reconocibles y evitar confusiones miméticas.

Este principio de mínima intervención se recoge también en el apartado 3 del art. 39 cuando sostiene que "Las restauraciones de los bienes a que se refiere el presente artículo respetarán las aportaciones de todas las épocas existentes. La

eliminación de alguna de ellas sólo se autorizará con carácter excepcional y siempre que los elementos que traten de suprimirse supongan una evidente degradación del bien y su eliminación fuera necesaria para permitir una mejor interpretación histórica del mismo. Las partes suprimidas quedarán debidamente documentadas".

Es indudable que este principio de mínima intervención deberá tenerse en cuenta también a la hora de aplicar el C.T.E., de manera que la adecuación a las exigencias del C.T.E. no pongan en peligro los elementos y valores protegidos. La compatibilidad que refiere el precepto es la que debe existir entre las medidas a adoptar como consecuencia de las exigencias del C.T.E. y la protección establecida. De resultar incompatibles, deberán establecerse medidas alternativas compensatorias, viables técnica y económicamente. Y, en todo caso, será exigible la adecuación al Código cuando la intervención tenga como finalidad cambiar los usos característicos. Hasta el punto de que, de no poder adaptarse plenamente, por alguna cuestión de incompatibilidad con los elementos a proteger, deberá denegarse el cambio de uso (salvo que las medidas alternativas fueran equivalentes y suficientes).



### **3. EL MODO DE APLICACIÓN DEL CÓDIGO TÉCNICO A LOS EDIFICIOS EXISTENTES (PROTEGIDOS O NO) Y SU OBLIGATORIEDAD.**

Uno de los criterios clave del CTE es el expresado en el párrafo 3 del artículo 2, ya comentado, en el que se contempla la posibilidad de incompatibilidades entre la aplicación del Código y el grado de protección que puedan tener los edificios afectados. Esa posible incompatibilidad deberá compensarse con medidas alternativas, tal como ya se ha indicado, técnica y económicamente viables.

Pero a pesar de su importancia, el concepto de “medida alternativa” no vuelve a aparecer en ningún lugar del Código y sólo aparece como expresión equivalente la de “solución alternativa” en el punto 3b de el apartado 5.1 que se refiere a cómo se debe justificar el cumplimiento de las exigencias básicas que se establecen en el Código. El procedimiento general es adoptar las soluciones basadas en los DB. Ahora bien, en el punto b se aceptan las “soluciones alternativas”, “entendidas como aquellas que se apartan total o parcialmente de las soluciones propuestas en los DB”. El párrafo que viene a continuación es de una importancia definitiva:

“El proyectista o el director de obra pueden, bajo su responsabilidad y previa conformidad del promotor, adoptar soluciones alternativas, siempre que justifiquen documentalmente que el edificio proyectado cumple las exigencias básicas del Código Técnico porque sus prestaciones son al menos equivalentes a las que se obtendrían por la aplicación de los DB.”

Según eso, es imprescindible hacer un recorrido por las soluciones propuestas en los DB y comprobar su grado de aplicabilidad a los edificios existentes protegidos o no. En el caso de que sean inaplicables, será necesario, en consecuencia, establecer los criterios para definir esas soluciones alternativas que puedan dar cumplimiento las exigencias de manera diferente a las desarrolladas por los DB.

El estudio de estos DB también es imprescindible puesto que en su inicio se dan indicaciones algo más precisas sobre la obligatoriedad de la aplicación del Código a los edificios protegidos. Veamos cada uno de ellos.

#### **3.1 Ahorro de energía (HE)**

##### Limitación de demanda energética (HE1) y Eficiencia de las instalaciones iluminación (HE3)

En los punto 1.1 de ambos queda perfectamente especificado que quedan excluidos “edificios y monumentos protegidos oficialmente” y los “lugares de culto”. La lectura completa de los párrafos no deja ninguna duda: son dos exigencias no aplicables en restauración monumental.

La exclusión queda complementada con la de las rehabilitaciones que afecten a menos de 1000m<sup>2</sup> en las que se renueve menos del 25% de los su envolvente.

##### Contribución solar (HE4) y contribución fotovoltaica (HE5)

Quedan excluidos de su cumplimiento los casos de rehabilitación “cuando existan limitaciones no subsanables” y especialmente “cuando así lo determine el órgano competente que deba dictaminar en materia de protección histórico-artística”.

Se puede concluir que el HE no tiene apenas incidencia.

#### **3.2 Protección contra el ruido (HR)**

En su redacción actual (no aprobada) de junio de 2006, se remite a los criterios generales de aplicación del CTE ya citados. Con todo, es conveniente resaltar que sí hace referencia a salas de conferencias, aulas, etc. mayores de 350 m<sup>3</sup>, habituales en restauraciones de con cambio de uso de edificios históricos, que deberán ser objeto de un estudio específico.

### **3.3 Salubridad (HS)**

Sólo hace referencia a los criterios generales de aplicación del CTE citados anteriormente.

### **3.4 Seguridad de utilización (SU)**

En general, se remite a los criterios generales de aplicación del CTE ya citados, por lo que afecta a todo tipo de restauraciones. En una primera aproximación, la exigencia que puede afectar con mayor intensidad es la del riesgo de caídas (SU1) en los aspectos de resbaladidad, discontinuidades del pavimento y, especialmente, el diseño de escaleras ya que exige características formales y de dimensionado no habituales en muchos edificios históricos.

### **3.5 Seguridad en caso de incendio (SI)**

Se remite a los criterios generales de aplicación del CTE ya citados, por lo que afecta a todo tipo de restauraciones.

Ello no obstante, en el capítulo III, "Criterios generales de aplicación", en los puntos 5, 6, 7 y 8 se refiere a aspectos concretos relacionados con obras de reforma o bien de cambio de uso estableciendo los criterios con los cuales hay que aplicar el código técnico a las partes reformadas, etc.

Dado que las normas y reglamento sobre incendios están en vigor desde hace ya muchos años, igual que en el caso anterior pero con mucho mayor interés, será de mucha utilidad analizar la jurisprudencia o experiencia existente derivada de conflictos de que ya se hayan presentado al respecto.

### **3.6 Seguridad estructural (SE)**

Si bien en el inicio del DB se indica una vez más que se remite a los criterios generales de aplicación del CTE ya citados, por lo que afectaría tal cual a todo tipo de restauraciones, la presencia del Anejo D "Evaluación estructural de edificios existentes", introduce un criterio específico que en realidad contradice lo dicho al inicio. El caso es que nos encontramos ante el único de los DB que dispone de un cuerpo doctrinal exclusivo para la intervención sobre los edificios existentes. Se debe celebrar que así sea por primera vez en la historia.

Pero todo ello no nos ha de hacer creer que tengamos facilitada la solución a los problemas estructurales de la restauración, ya que los criterios especificados en el citado Anejo D están muy alejados de la casuística propia de los edificios patrimoniales. Su lectura deja entrever que toma como referencia los establecidos en la norma ISO 13822 "Bases for design of structures-Assessment of existing structures" de 2001, claramente pensada, aunque no lo explicita, para edificios existentes contruidos según las técnicas desarrolladas a lo largo del siglo XX.

La falta de indicaciones para la gran mayoría de los edificios patrimoniales se acentúa al establecer el DB SE-F Fábrica la exclusión de cualquier edificio que no disponga de forjados de hormigón armado arriostrando las paredes. Los otros tres DB ni afirman ni niegan nada, con lo que en las estructuras de madera, acero o cimentaciones se podrán aplicar al menos los criterios generales.

## 4. DOCUMENTOS BÁSICOS DE HABITABILIDAD

El objetivo de este estudio es analizar cómo los contenidos de los DB (es decir, la concreción numérica de las exigencias, los métodos de verificación de las prestaciones o las soluciones con prestaciones garantizadas) afectan o son aplicables a los edificios protegidos. El objetivo final es determinar la posible necesidad de proponer métodos de verificación alternativos o soluciones alternativas para los edificios protegidos.

Tal como ya se ha indicado en el apartado anterior, el único DB que de manera expresa no afecta a los edificios protegidos, o al menos exime de su aplicación en los casos claros de incompatibilidad, es el HE Ahorro Energético, de manera que queda excluido de este estudio particular. Veamos cada uno de los otros documentos básicos.

### 4. 1. Protección frente al ruido (HR)

Tal como se ha indicado, este estudio se hace sobre el borrador de Junio de 2006 a la espera que se publique el documento definitivo.

Al igual que todos los DB, en el punto III de la Introducción “Criterios generales de aplicación” acepta que pueden utilizarse otras soluciones diferentes a las contenidas en el DB en cuyo caso habrá que seguir lo establecido en el artículo 5 del CTE sobre soluciones alternativas.

A los efectos del cumplimiento de la protección contra el ruido en los edificios existentes, no se da ninguna indicación, como ya se ha comentado. Pero es preciso distinguir dos aspectos bien diferentes: el del aislamiento a ruido aéreo o de impacto y el del control de reverberación de los espacios comunes. Veamos cada uno de ellos por separado. Empecemos por este último dado que es de más fácil análisis.

La limitación del ruido en los espacios comunes de los edificios viene establecida en el punto 2.2 en el que se exige una absorción por metro cúbico de 0,2 m<sup>2</sup> y en el punto 2.3 específico para aulas, salas de conferencias, comedor o restaurantes que se limita el tiempo de reverberación.

Hay que destacar que en este caso el Código no ofrece soluciones que no sean ya las conocidas con materiales absorbentes del ruido sino que lo que propone es un método de verificación del cumplimiento de esta exigencia cuantificada. Y es un método perfectamente aplicable en su conjunto a los edificios existentes ya que, si mediante la aplicación ese método de verificación se comprueba que no cumple, podemos proyectar un conjunto de revestimientos absorbentes y con ese mismo método de verificación comprobar si cumple o no, de manera que es aplicable de manera semejante a un proyecto de edificio nuevo.

En todo caso habrá que considerar el hecho de que, en general, la absorción acústica de estos espacios de uso público se basa habitualmente en la colocación de materiales absorbentes, de resistencias superficiales bajas, en la parte menos accesible a la acción antrópica. Habitualmente esas zonas son los techos. Obviamente, si estamos en un edificio histórico nos podemos encontrar con artesonados o bóvedas históricas que no van a permitir fácilmente esta solución y en consecuencia con toda probabilidad habrá que recurrir a otro tipo, como podrían ser pavimentos textiles. Aunque también cabe la posibilidad de que tampoco sean aplicables ya que se dispone de un suelo de gran valor.

De manera que la aplicación de esta exigencia puede que en algunos casos sea prácticamente imposible.

En relación con el aislamiento al ruido aéreo o de impacto, los problemas son bien diferentes.

El conjunto de soluciones concretas propuestas, al menos en este borrador de Junio de 2006 para los casos edificatorios más habituales, en general, no son aplicables a los edificios históricos a no ser que sea un acaso en el que en espacios

grandes se desarrolle una compartimentación en espacios más pequeños, con lo cual sería más equiparable a una obra nueva.

Ahora bien, si se aprovecha la compartimentación existente vertical, como puedan ser muros, u horizontal, como puedan ser bóvedas o forjados de madera, esas soluciones propuestas no tienen ningún sentido. De manera que lo que es preciso ver es si método de verificación propuesto del cumplimiento es aplicable o no a nuestro caso.

La verificación, tal como aparece en el punto 1.1.2 puede llevarse a cabo por la opción simplificada que es no más que comprobar que se ha aplicado una de las soluciones propuestas, y la otra es la opción general, aplicando los métodos de cálculo especificados para cada tipo de ruido definidos en el apartado 3.1.3. Es posible la alternativa de la utilización de una herramienta informática que facilita esa comprobación.

La aplicación del método general para el aislamiento del ruido aéreo entre dos recintos interiores se desarrolla en el apartado 3.1.3.3 en el que aparece la fórmula que nos indica la diferencia de niveles entre dos recintos es función de las características de aislamiento acústico del conjunto de cerramientos  $R'_A$ , del volumen y de las superficies.

Obviamente la cuestión clave está en si posible conocer la  $R'_A$ , que a su vez es consecuencia de las sucesivas  $R$  de reducciones acústicas de las transmisiones indirectas ejercidas por conjunto de todos los cerramientos que participan en la transmisión del ruido.

Suponiendo que tenemos un edificio con soluciones históricas de fábrica homogéneas, podemos basar el valor de su índice de reducción acústica aplicando la ley de masas. Pero lo que ya no es tan fácil es aplicar los métodos de cálculo que se proponen en las líneas siguientes del CTE para averiguar los índices de reducción de las transmisiones laterales. De manera que se puede afirmar que es un procedimiento de muy difícil o casi imposible aplicación.

En conclusión:

1) en relación con la reducción del ruido en espacios comunes los métodos de verificación aportados por el DB son aplicables.

2) en relación con el aislamiento del ruido aéreo o de impacto, el DB no aporta ningún tipo de ayuda para su aplicación a los edificios existentes, sean protegidos o no.

Por todo ello parece razonable proponer que para los casos más habituales de nuestro parque edificado, se debe desarrollar un método bien diferente al establecido por el DB-HR. Una solución podría ser un catálogo de doble entrada y la adaptación al caso del método general de verificación propuesto en el DB-HR.

En el primer capítulo del catálogo se deben indicar las características aislantes de ruido aéreo o de impacto de las soluciones constructivas más habituales de los edificios existentes. Se deberán distinguir por un lado los elementos cada uno por separado y por otro formando los conjuntos habituales. Para conseguir estos datos será necesario no sólo realizar campañas extensas de ensayos in situ sino aprovechar la extensísima experiencia contrastada al respecto ya existente en diversos países europeos por ejemplo en Francia.

En el segundo capítulo se deben recoger los resultados de ensayos en los que se evalúa la eficacia en el incremento del aislamiento a ruido aéreo y de impacto de las soluciones basadas en doblados de las paredes o forjados habituales que se han expuesto en el primer capítulo. La documentación francesa al respecto es muy extensa.

Para la adaptación del método de verificación citado se deberán realizar los ensayos que permitan trasladar los criterios válidos para obra nueva a los casos de los edificios existentes.

Para los casos menos habituales en los que sería difícil aplicar el método anterior, se deberá desarrollar un nuevo método que se apoye en mediciones in situ que, por medio de ensayos algo más simplificados de los normativos, nos determinen

las características del conjunto de elementos constructivos en estudio. Sobre estos resultados se podrán aplicar los resultados del método anterior adaptado al caso.

## **4.2 Salubridad (HS)**

De las 5 exigencias que se detallan en este documento básico, la única que puede afectar a cualquier edificio histórico es la que contempla la protección frente a la humedad. Su ámbito de aplicación se refiere a muros y suelos que están en contacto con el terreno y a los cerramientos que están en contacto con el aire exterior, fachadas y cubiertas de todos los edificios incluidos en todo el ámbito aplicación general de la CTE, es decir, nuevos, de nueva construcción o existentes.

Ello no obstante, como el resto de los documentos del código, está ausente cualquier referencia directa a los edificios existentes. Éstos siempre será necesario evaluarlos en comparación con los edificios de nueva construcción.

Es preciso hacer notar la diferencia de planteamiento de este DB con el anterior de protección frente al ruido.

En éste, la aplicación genérica de la comodidad acústica exigida de manera muy general en la primera parte se concreta en el DB en unas exigencias cuantitativamente muy precisas. En el de salubridad no ocurre así.

La exigencia básica se define de la siguiente manera:

“Se limitará el riesgo previsible de presencia inadecuada de agua o humedad en el interior de los edificios y en sus cerramientos como consecuencia del agua procedente de precipitaciones atmosféricas, de escorrentías del terreno o de condensaciones disponiendo de medios que impidan su penetración, o en su caso, permitan su evacuación sin producción de daños.”

Frente a esta generalidad, el DB no concreta de manera cuantitativa la exigencia sino que propone un método de verificación basado en la utilización de determinadas soluciones constructivas para los muros o suelos, todas realizadas con materiales y procedimientos actuales. Con lo que el procedimiento de verificación se limita a ver si se ha adoptado la solución propuesta concreta por el código.

De manera que, si bien en el caso del ruido es posible de una forma científica proponer soluciones alternativas que puede comprobarse en laboratorio o in situ, de manera que cumplan fehacientemente las prestaciones exigidas, no es posible esto en relación con la protección contra la humedad.

### **Muros enterrados**

Todo lo anterior queda muy claro cuando se analiza el punto 1.2 “Procedimientos de verificación”. Para los muros enterrados indica que:

“sus características deben corresponder con las especificadas en el apartado 2.1.2. según el grado de impermeabilidad exigido en el apartado 2.1.1.”

Este apartado 2.1.1 establece el grado de impermeabilidad exigible medido de 1 a 5 según sea la presencia de agua en la parte exterior del muro, que puede ser baja cuando la cara interior del muro se encuentra por encima del nivel freático, alta cuando está 2 o más metros por debajo y media el caso intermedio.

El punto 1.2.1.2. se establecen las soluciones constructivas, las cuales, en su práctica totalidad consideran la impermeabilización por la cara exterior del muro, solución poco realista para los edificios existentes. Por ello, la única solución posible es la realización de una cámara interior que deberá ser ventilada.

Es de destacar el hecho de que, en consecuencia, las soluciones habituales para desecar muros enterrados, o especialmente humedades de capilaridad situadas en muros de plantas bajas, no se recogen en ningún apartado del Código.

La conclusión es obvia: es necesario desarrollar algún documento que, analizando las diferentes soluciones existentes en la actualidad sobre desecación de muros enterrados o desecación de muros en plantas bajas afectados por humedades

de capilaridad, establezca sus condiciones de aplicación en función de los tipos habituales de muros históricos.

Un razonamiento equivalente es aplicable a los suelos de plantas bajas o subterráneos en contacto directamente con el terreno.

### **Fachadas**

En el estudio de la aplicación de las condiciones para las fachadas se llega a conclusiones algo diferentes y en parte sorprendentes.

Al igual que los muros enterrados, sus condiciones de verificación pasan por establecer el grado impermeabilidad exigible en el apartado 2.3.1 y a la cual se ha de contraponer la prestación de las fachadas, según sean sus características.

Para ello, el punto 2.3.1 determina el grado de impermeabilidad exigible, que oscila también entre 1 y 5, y que resulta de la combinación de las zonas pluviométricas en las que se pueden dividir el territorio español con el grado de exposición al viento según sea la proximidad del mar en un caso extremo o el centro de grandes ciudades, en el extremo opuesto.

El punto 2.3.2 establece la prestación correspondiente a las soluciones constructivas posibles según esa misma graduación, para que se pueda establecer la correspondencia adecuada.

Es interesante ver el nivel de prestación que el código concede a las fachadas más habituales en los edificios históricos que son:

- una hoja principal maciza de piedra natural con una absorción del orden del 2%, es razonable.
- tomada con un mortero no especialmente hidrófugo y
- un revestimiento interior no especialmente hidrófugo.

Según la nomenclatura del CTE a la mayoría de estas fachadas les corresponde una clasificación de C2 H1 J1 N1, a la que se le asigna un grado de impermeabilidad 1 o 2. Es decir, no se podría situar en una zona clasificatoria por la exigencia del grado de impermeabilidad equivalente a 3.

Analizadas las exigencias de las diferentes zonas geográficas, se comprueba, por ejemplo, que una ciudad como León o una población como el Escorial, tienen un grado de exigencia 3.

Y por lo tanto, edificios cuyo comportamiento es bien conocido desde este punto de vista como razonable, como son la casa de los Botines de León o el monasterio del Escorial, no cumplen las exigencias del Código Técnico.

La propuesta a desarrollar en este sentido, será la de dar el valor de comprobación experimental histórica y científica al resultado del comportamiento real del edificio. Si el agua no lo atraviesa, cumple el Código y si no, no.

## **5. DOCUMENTOS BÁSICOS DE SEGURIDAD DE UTILIZACIÓN E INCENDIO**

### **5.1 Seguridad de utilización (SU). SU1. Seguridad frente al riesgo de caídas.**

Tal como ya se ha indicado, de las exigencias básicas referidas a la seguridad de utilización la única que plantea posibles alternativas a las soluciones propuestas es la primera, SU1 seguridad frente al riesgo de caídas. El resto de exigencias básicas se ha de cumplir bajo cualquier condición sin ningún tipo de paliativos.

La seguridad frente a riesgo de caídas está planteada de una forma general según el siguiente párrafo:

”Se limitará el riesgo de que los usuarios sufran caídas, para lo cual los suelos serán adecuados para favorecer que las personas no resbalen, tropiecen o se dificulte la movilidad. Así mismo se limitará el riesgo de caídas en huecos, en cambios de nivel y en escaleras y rampas, facilitándose la limpieza de los acristalamientos exteriores en condiciones de seguridad.”

El desarrollo del DB se basa en comprobaciones de los aspectos geométricos de las soluciones, como son los desniveles, diseño de las escaleras, etc, y un método de verificación de la resbaladidad. Empezamos primero por este concepto.

#### **5.1.1 Riesgo debido al material. Resbaladidad de los suelos.**

El método de verificación contempla:

a) la clasificación según el riesgo de resbaladidad de los diferentes usos en función de su localización, zonas interiores, secas, húmedas, etc, con una gradación que va de 1 a 3

b) el método para determinar la prestación, entre 1 y 3, de los diferentes pavimentos según su resbaladidad mediante el ensayo descrito en la norma UNE-ENV12633:2003.

La dificultad para su aplicación a los edificios existentes es consecuencia de que el ensayo se debe hacer en laboratorio sobre probetas del pavimento a analizar. No se puede negar que existe la posibilidad de extraer probetas de los suelos existentes de edificios protegidos, pero no deja de ser un ensayo agresivo.

Partiendo de esta consideración, sería conveniente que se desarrollara un estudio que asignara a los pavimentos existentes usuales o no tan usuales, su prestación según su resbaladidad. O bien, un ensayo mucho más sencillo de campo que pudiera realizarse in situ sobre el pavimento a clasificar.

#### **5.1.2 Riesgo debido a la forma**

En relación con el resto de exigencias de tipo geométrico-formal, el método de verificación se basa en la comprobación de que no existen ningún tipo de discontinuidad, peldaño, desnivel importante que pueda producir esas caídas. Pero es preciso hacer notar que en la intervención de edificios protegidos es muy posible que ya en el diseño original, o como consecuencia de cambios de uso con nuevas distribuciones que unan cotas diferentes, se presenten grandes dificultades a la hora de cumplir en detalle todas esas prescripciones. Se propone en consecuencia, la aparición de un concepto nuevo, que sería no el de solución alternativa sino el de “solución compensatoria”, entendida como aquella que, si bien no cumple estrictamente la exigencia geométrica planteada, reduce el riesgo que esta provoca mediante un procedimiento diferente como pueda ser iluminar más, o una señalización muy clara del riesgo de caída, etc.

**Discontinuidad en el pavimento.** Por ejemplo, la restauración de un edificio existente puede suponer la unión de salas que, por motivos históricos, se encuentran a diferente nivel. Estos desniveles pueden suponer la necesidad de colocar uno o dos peldaños. También pueden aparecer desniveles de uno o dos peldaños formando parte del recorrido turístico de monumentos como castillos, fortalezas...

En ambos casos no se cumple la normativa, por lo que serían necesarias soluciones o medidas compensatorias que sirvan para cumplir la exigencia del CTE, es decir, reducir el riesgo de caídas.

**Desniveles.** En el apartado 3.2.4 se acepta como concepto sustituir la altura de una barandilla por un elemento de mayor profundidad en el caso de "Barreras situadas delante de una fila de asientos fijos".

Este mismo idea puede aplicarse como medida compensatoria para evitar colocar barandillas en murallas con una altura inferior a 90 o 110cm pero que, por su gran espesor, hacen improbable la caída.

De esta manera se evitaría desnaturalizar el monumento con un elemento añadido que, en algunos casos, puede resultar innecesario.

Para establecer un criterio único a la hora de sustituir la altura por profundidad se podría establecer una regla geométrica.

Por otra parte, también se podría recopilar, a partir de casos reales, cuales son las disposiciones constructivas que hacen muy improbable la caída.

**Escaleras y rampas.** El diseño de las escaleras exige características formales y de dimensionado no habituales en muchos edificios históricos.

Existe una extensa casuística en cuanto a tipos de intervención de que pueden ser objeto las escaleras y rampas existentes que no cumplen algún aspecto de este apartado del CTE:

- Se mantiene el uso.
- Se abre a la visita del público.
- Se restauran los acabados si modificar el peldañado.
- Se refuerza estructuralmente pero se mantiene el peldañado original.
- Se reconstruye algún tramo siguiendo las trazas originales.
- Se reconstruye totalmente siguiendo las trazas originales.

Aparte de estos casos, también se pueden plantear problemas con la construcción de una escalera nueva en una sala que, por sus dimensiones, no permite cumplir algún aspecto de la normativa.

Se puede concluir que para todos los casos en los que puede dominar la protección de un edificio patrimonial sobre la aplicación estricta de los criterios geométrico-formales del código, sería conveniente establecer unos criterios de lo que hemos denominado soluciones o medidas compensatorias del riesgo. Parece imprescindible hacer un estudio de un número a determinar de casos, ya que en general es difícil suponer cuales son los más genéricos.

Sobre el riesgo de la limpieza de los acristalamientos exteriores, habría que aplicar un estudio semejante, ya que no es fácil que en general se cumplan estrictamente las medidas propuestas por el código.



## **5.2 Seguridad en caso de incendio (SI)**

La experiencia recogida en los últimos años por la aplicación de la NBE CPI permite comprobar que las dificultades de adaptación de los edificios existentes a la seguridad contra incendio son consecuencia fundamentalmente de los aspectos geométrico-espaciales de su configuración general. En principio, la inclusión de instalaciones de protección o detección no plantea problemas irresolubles aunque sí en muchos aspectos, complejos. Pero siempre es posible encontrar alguna solución que cumpla estrictamente lo prescrito en cuanto a instalaciones. No es así, por ejemplo, en cuanto a vías de evacuación.

La ubicación de las escaleras en relación con las plantas del edificio, sus dimensiones y diseño particular, difícilmente se adaptan a las exigencias actuales en cuanto a la evacuación. Algo parecido ocurre con los aspectos relacionados con la propagación exterior consecuencia de los diseños particulares de fachadas y cubiertas y en relación con la accesibilidad de los bomberos respecto el entorno urbano que rodea el edificio.

La propagación interior, generalmente, se puede resolver mediante el refuerzo de los elementos de compartimentación, que en muchos casos ya cumplen cuando son paredes de obra de fábrica para la subdivisión de sectores de incendio.

En los aspectos estructurales, si estamos hablando de edificios históricos, normalmente de obra de fábrica, en general los elementos verticales o los horizontales si son abovedados, no plantean ningún problema, aunque sí lo plantean los elementos realizados en madera. En este aspecto es importante relacionar su resistencia al fuego con su capacidad portante determinará en el DB específico.

Todo este cuadro de dificultades basado en una casuística extensa y compleja no permite fácilmente establecer criterios generales de adaptación de los edificios a la seguridad contra incendios. Es conveniente insistir en que debería ser aplicable el concepto citado anteriormente de medida o solución compensatoria, por ejemplo, si una vía de evacuación no cumple estrictamente con las condiciones establecidas, si no se aleja demasiado, puede compensarse con un incremento de las instalaciones de detección y de extinción; en este sentido, hay que hablar de esas soluciones compensatorias que la experiencia demuestra que en muchos aspectos son aceptadas por los servicios de bomberos por los ayuntamientos afectados.

Como consecuencia de todo ello, parece recomendable el desarrollar estudios sobre casos concretos en un número a determinar, de manera que se recojan las situaciones más usuales, que al menos sirvan de criterio de base o de guía a la hora de proponer los proyectistas esas soluciones compensatorias para las carencias de cumplimiento que se han insuperables como consecuencia de las características del edificio existente.

## **6. DOCUMENTOS BÁSICOS DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL (SE)**

El objetivo de este estudio es averiguar el tratamiento que reciben los edificios existentes, y especialmente los que son susceptibles de ser catalogados como edificios protegidos o monumentales, en el conjunto de documentos que se incluyen en el DB-SE.

En general, se puede afirmar que los edificios existentes más o menos protegidos responden al tipo de estructura de obra de fábrica, complementada por elementos de madera y, en determinados tipos de edificios habituales de finales del siglo XIX, con elementos metálicos. En algunos casos recientes podemos encontrar edificios realizados con estructuras de hormigón armado. Como todos ellos tienen cimentaciones, también interesa estudiar el documento básico específico de este elemento. Es decir, nos interesan todos los documentos del DB-SE.

La pregunta se puede plantear también de otra manera: ¿A qué tipo de edificios históricos son aplicables los contenidos del CTE? Y, como ya se puede rápidamente entrever, quedarán excluidos muchos de esa posible aplicación, se tratará de proponer líneas de actuación para poder evaluar los que quedan fuera de su ámbito.

Una primera observación, en consecuencia, pasa por ver exactamente qué dicen los documentos en relación con su propio ámbito de aplicación.

### **6.1 Los ámbitos de aplicación de los diferentes documentos**

El párrafo 2 del punto “1.1.Ámbito de aplicación” del documento, base de todo este conjunto, se deja claro que los preceptos del documento DB-SE: Seguridad Estructural son aplicables a todos los tipos de edificios, incluso a los de carácter provisional.

Es de destacar que se incluye en este documento un anejo D dedicado a edificios existentes. Sin embargo, en este primer apartado no se hace ninguna referencia al ámbito de aplicación a lo largo de todo el documento hasta llegar al anejo D. De manera que, leyendo de una forma disciplinada todo el texto, se podría pensar que un lector ingenuo al llegar a dicho anejo diría: “¿a qué viene esta referencia a los edificios existentes?”. Todo hace sospechar que es un anejo añadido sin ninguna coherencia con el contenido del documento.

El estudio de los diferentes párrafos dedicados a los ámbitos de aplicación del resto de documentos, “Acciones, Cimentaciones, Acero, Madera y Fábrica” no dicen nada al respecto ni a lo largo de su texto aparece en ningún momento la expresión “edificios existentes”.

Es más, en el dedicado a la “Fábrica”, que, supuestamente, debería tener más interés por los edificios del pasado, en el párrafo 2 del punto “1.1.Ámbito de aplicación”, se dice claramente que quedan excluidos los tipos de edificios cuya definición coincide prácticamente con todos los históricos. Se volverá, líneas más abajo, a detallar estos tipos.

Se puede concluir razonablemente que el documento de seguridad estructural está exclusivamente pensado para edificios de nueva construcción e ignora realmente a todos los existentes, salvo en el anejo D del DB-SE en el que si se contempla exclusivamente este caso.

Teniendo en cuenta la importancia, que tanto la LOE como los párrafos iniciales del Código Técnico dan a la obligatoriedad que afecta a las obras en edificios existentes, sorprende enormemente en que un tema tan fundamental como el de su seguridad estructural quede prácticamente reducido a un anejo.

## **6.2 El Anejo D. Evaluación estructural de edificios existentes**

De entrada, es de gran interés destacar lo que expresa en el punto D.1.2. Consideraciones previas:

“No es adecuada la utilización directa de las normas y reglas establecidas en este CTE en la evaluación estructural de los edificios existentes, construidos en base a reglas anteriores, las actuales para los edificios de nueva construcción por los siguientes motivos: ....”

Entre todos ellos, es destacar el más importante de los tres motivos:

“Las normas actuales suelen estar basadas en exigencias diferentes y generalmente más estrictas que las vigentes en el momento en el que se proyectó el edificio, por el cual, muchos edificios existentes se clasificarían como no fiables si se evaluaran según las normas actuales.

Es importante destacar que esta idea, ya conocida desde hace mucho tiempo por todos los profesionales de la construcción, por primera vez aparece escrita en un documento de obligado cumplimiento. Sin duda, es un paso muy importante.

Dicho esto, volvamos al punto D.1.1 para analizar los contenidos del ámbito de aplicación.

### **6.2.1 Los poco frecuentes edificios incluidos en el ámbito de aplicación**

Entre otras consideraciones, dice que los criterios que se establecen en el anejo son aplicables a cualquier tipo de edificio existente siempre que cumpla algunas de las dos condiciones siguientes:

“a) Se ha concebido, dimensionado y construido de acuerdo con las reglas en vigor en el momento de su realización.

b) Se ha construido de acuerdo con la buena práctica, la experiencia histórica y la práctica profesional aceptada.”

Son varias las consideraciones que es preciso hacer en relación con estas condiciones.

1) exige conocer cuáles eran las reglas o normas en vigor en el momento de su realización, lo cual es bien difícil ya que en general no existían ni normas ni reglas claramente expresadas,

2) quizá sea más fácil conocer la buena práctica, la experiencia histórica y la práctica profesional aceptada, pero no como expresada en un documento histórico sino como acumulación de conocimientos que los historiadores de la construcción actuales pueden aportar sobre un momento concreto, lo que tampoco es fácil de encontrar de manera sistemática.

Pero, suponiendo que conociéramos todo ello, la experiencia también enseña que la práctica profesional aceptada, o la experiencia histórica, o la buena práctica, ha podido dar lugar durante muchos años a edificios que en la actualidad, sin exigirles mucho, podemos decir que son incompetentes desde el punto de vista estructural.

De manera que, habiendo superado ese difícil conocimiento sobre cuáles eran la buena práctica, la experiencia histórica y la práctica profesional aceptada del siglo XIX, del XVIII o del XVII o del XV, aparece otra gran dificultad, ¿cómo se sabe si el edificio se construyó siguiendo esa buena práctica?

Pues, obviamente, sólo haciendo un análisis profundo de su configuración constructivo-estructural y de sus fábricas y sus materiales.

Pero ¿y si no se conoce nada de las normas históricas o de la buena práctica?, ¿qué se hace con el edificio?; pues ya no se puede evaluar mediante el anejo D.

Es un criterio aplicable sólo para determinados lugares y momentos históricos. Un ejemplo podría ser el de un edificio que cumple las reglas de Rondelet sobre espesor de muros de carga que estuvieron vigentes a lo largo de todo el siglo XIX. Si además no presenta ningún fallo aparente y una simple observación permite asegurar que están bien realizadas sus trabas, sus uniones y sus fábricas, podemos decir que responde a ese concepto de práctica profesional aceptada.

Ahora bien, esto sólo es posible por ejemplo, en una buena parte de Francia y otros lugares de Europa; pero en España podemos encontrar muchos edificios que no cumplen, ni muchísimo menos, las reglas de Rondelet. Es más, se encuentran testimonios históricos en los que se declara expresamente, como el indicado por el arquitecto Folguera a principios del siglo XX, que en Cataluña no se cumplen las reglas de Rondelet.

Sin embargo, no expresa qué reglas debían cumplir y no es posible conocerlas de una forma objetiva, porque no se escribieron nunca.

En consecuencia, es un criterio en general no aplicable.

También se pueden recordar los casos de los criterios de Fray Lorenzo de San Nicolás en relación con el grueso de los estribos respecto la luz de la bóveda del edificio eclesiástico o de una catedral gótica en relación con la regla del tercio sobre la profundidad de los estribos. Pero son muchos los casos en que encontramos edificios existentes que no cumplen esas reglas, y, en consecuencia: “¿qué se puede hacer con ellos?”.

De manera que, dado que el anejo D implica un conocimiento exhaustivo de esas buenas prácticas y la práctica profesional aceptada durante todos los siglos anteriores al nuestro incluido el XX, podemos decir que nos es aplicable casi nunca

### 6.2.2. Las evaluaciones cuantitativas o cualitativas

En el punto D 2. “Criterios básicos para la evaluación”, en el apartado D2.1.dedicado al Procedimiento, en el párrafo 1 dice que la evaluación estructural se realizará normalmente mediante una verificación **cuantitativa** de su capacidad portante. Para lo cual se han de desarrollar tres fases de aproximación que analizaremos líneas más abajo.

Pero lo que parece interesante destacar ahora es lo que aparece en el párrafo 2 cuando vuelve a clasificar los edificios en dos grandes grupos bien diferentes:

a) Aquellos “en los que no resulte posible o sea poco fiable una verificación cuantitativa o

b) “cuando el edificio haya demostrado un comportamiento satisfactorio en el pasado”,

Pues bien, en estos dos casos se podrá realizarse una evaluación **cualitativa** de la capacidad portante siguiendo los criterios enumerados en D6.

En realidad el análisis lógico de este párrafo 2 nos lleva a proponer que se sustituya una “o” por una “y”, ya que el uso de esa disyuntiva referida a esos dos tipos de edificios no tiene ninguna razón de ser y sin embargo la conjunción “y” sí; la redacción sería, pues:

“sobre aquellos edificios en los que no resulta posible la evaluación cuantitativa y que han demostrado un comportamiento satisfactorio en el pasado, se puede realizar la evaluación cualitativa”.

## La imposible evaluación cuantitativa

Hecha esta primera disquisición, es importante avanzar que la evaluación **cuantitativa** incluye, tal como se ve más adelante, una evaluación siguiendo métodos semiprobabilísticos y otra más avanzada utilizando métodos probabilísticos.

Pero antes de llegar a un estudio de éstos que nos dan la pauta para comprobar realmente a qué edificios podemos aplicar los criterios que propone, es interesante destacar lo que dice el código en el punto D3. "Recopilación de la información".

Las propuestas del apartado D3.1. "Determinación del estado actual". son perfectamente asumibles ya que son las que la práctica profesional habitual recoge.

Sin embargo es interesante destacar que, en el párrafo c), cuando habla de las características de los materiales empleados, afirma que:

"cuando las características de los mismos no se pueden deducir de manera fiable a partir de la información disponible, (es decir, prácticamente siempre) se determinaran mediante ensayos no destructivos o si destructivos, a partir de **muestreos estadísticamente representativos**, que tengan en cuenta no sólo el edificio, así como las influencias ambientales."

Sin lugar a dudas, la expresión destacada en negrita, pasa a ser un elemento clave a la hora de determinar la aplicabilidad de estos conceptos a un edificio existente.

El concepto de muestreo estadísticamente representativo, aplicado a la edificación, hay que seguirlo a partir de la norma UNE 66020 que supone una cantidad de probetas que, en general, es imposible de extraer en un edificio histórico. Pero para no acabar aquí ésta exposición, supongamos que existen algunos casos en que eso es posible, o bien que son posibles ensayos no destructivos que permiten hacer muestreos extensos.

En el apartado D3.2. se dedica a la "evaluación de estos ensayos". En el primer párrafo acepta que el número de resultados sea reducido, lo cual llevará a conducir a valores conservadores y en esos casos, si se dispone de información previa, ésta puede combinarse con esos resultados. Pero la pregunta, como siempre es: "¿Y si no se dispone de información?".

A continuación es cuando define por primera vez, ya de una manera clara los dos métodos de análisis:

1) el semiprobabilista, para el cual aplica todo lo indicado en el punto 3.3. de la parte general que es la dedicada a la manera de estudiar las variables básicas, incluidas las acciones, y las características de los materiales o las propiedades de los materiales que, en general vendrán representadas por sus valores característicos que según sean favorables o desfavorables vendrán definidos por el fractil del 95% o el 5%, es decir, lo habitual en los análisis semiprobabilistas.

2) en el párrafo 4 da entrada a la posibilidad del análisis probabilista, la cual obviamente requerida una función de densidad de probabilidad y todo lo que necesita este tipo de análisis.

Por todo lo dicho hasta este momento y como la experiencia general demuestra, es una posibilidad de estudio que, aplicada cualquier edificio histórico es totalmente inviable; con lo cual ya dejaremos de considerar todo lo que en el anejo D se dedica a éste procedimiento, sólo aplicable con muchos medios y un desarrollo instrumental amplio a edificios de hormigón armado o acero.

Para definir las condiciones en las que es posible la evaluación cuantitativa, es preciso adelantarnos al punto D5 "Verificación", pero que en realidad está haciendo referencia a éste tipo de evaluación.

Establece tres niveles de evaluación. La preliminar, la detallada y la avanzada con métodos probabilistas. Veamos sólo las dos primeras.

Sobre la preliminar dice que:

“es necesario realizarla a partir de valores representativos actualizados de las acciones y de la información actualizada de la estructura”

Lo cual requerirá como ya se ha dicho anteriormente, muestreos estadísticamente representativos.

Supuesto que se hayan podido conseguir, se adoptarán:

“los coeficientes parciales de seguridad para las acciones y la resistencia de acuerdo con lo establecido en el apartado 4.2. y los documentos básicos de seguridad estructural de los diferentes materiales.”

Es decir que, mediante esa información actualizada, tanto de las acciones como de la estructura, podemos aplicar los criterios de los documentos básicos.

Es de destacar que, el punto 4.2. “Capacidad Portante” se encuentra dentro del capítulo 4 dedicado a las “Verificaciones basadas en coeficientes parciales” que es el procedimiento utilizado para todos los documentos sobre Acero, Madera, Fábrica o Cimentaciones

Pero obviamente, como ya se ha dicho anteriormente, nos encontramos con la dificultad de que ninguno de esos documentos prevé su aplicación a edificios existentes, lo cual no deja de ser una contradicción esencial del propio conjunto de documentos.

La evaluación detallada, se diferencia de la preliminar sólo por el hecho de que, en vez de adoptar los coeficientes parciales de los documentos básicos, se adoptan los coeficientes parciales particularizados que se determinaran teniendo “en cuenta la adquisición de información que habrá disminuido las incertidumbres asociadas a las variables.”

“Los coeficientes parciales particularizados se deberán calibrar para que sean consistentes con el nivel requerido de seguridad estructural.”

Lo más importante se dice a continuación:

“Normalmente serán menos conservadoras con los coeficientes correspondientes incluidos los documentos básicos correspondientes para el dimensionado de edificios de nueva construcción”, se supone que como consecuencia de esa mayor información.

Sin embargo, a pesar de todo lo que se expresa en este apartado dedicado a la evaluación detallada, su contenido queda bastante hermético, y no da ninguna pista para poder determinar en qué varían estos coeficientes parciales particularizados. Y ésta es una de las cuestiones claves que desarrollan ampliamente la mayoría de reglamentos de análisis de edificaciones existentes, europeos o norteamericanos.

Se puede concluir que, en el mejor de los casos, las únicas estructuras susceptibles de ser evaluadas cuantitativamente son las que disponen del documento correspondiente, es decir, las de fábrica y las de madera. Algo similar es posible afirmar de las estructuras de acero o de las cimentaciones. Más adelante volveremos sobre ello.

La pregunta es ¿Qué ocurre con el resto de estructuras históricas basadas en obra de fábrica de piedra de sillería, de mampostería de dos hojas o de tres hojas con un relleno intermedio presentes en tantísimos edificios históricos? Es impensable hacer una evaluación cuantitativa. El único camino es, en consecuencia, ir a la evaluación cualitativa. Veamos cuales son sus condiciones, que no son pocas.

## **La poco probable posibilidad de evaluación cualitativa.**

La primera de todas es que, tal como ya se ha comentado anteriormente, el edificio haya sido dimensionado y construido de acuerdo con reglas de normas antiguas.

Es importante insistir en esta cuestión, ya que en realidad el documento el anejo D tiene muy en cuenta esa existencia de normas antiguas como punto de referencia pero, puesto que en el mundo de la obra de fábrica no existen, es razonable sospechar que en realidad los edificios que tienen en su mente el redactor de éste anejo, por decirlo de alguna forma, son más bien propios del siglo XX el hormigón y acero, todos ellos, regidos por normas.

Suponiendo que conocemos una norma antigua, podemos pasar a valorar las siguientes condiciones que impone el Anejo D para que un edificio sea susceptible de ser evaluado cualitativamente.

- a) el edificio se ha utilizado durante un tiempo suficientemente largo sin que se hayan producido daños o anomalías,
  - b) una inspección detallada no revela ningún indicio de daño o deterioro
  - c) la revisión del sistema constructivo permite asegurar la transmisión adecuada de las fuerzas, especialmente a través de los detalles críticos,
  - e) durante un periodo largo de tiempo no se han producido cambios que puedan haber incrementado las acciones
- Y el último y más importante:
- f) durante el periodo de servicio restante no se prevén cambios que pudieran incrementar las acciones del edificio o afectar su durabilidad de manera significativa

Esta última condición coincide con el párrafo 2, que añade que esa evaluación cualitativa puede ser insuficiente para situaciones de dimensionado extraordinarias.

El comentario a añadir al punto b) es que no es nada difícil que un edificio histórico no tenga un daño o un deterioro.

Al punto c) que implica un estudio exhaustivo mediante calas de todas las entregas, rincones no visibles del edificio.

Al punto e) como ya se esta viendo a lo largo de todas las condiciones, es decisivo conocer la historia del edificio, como ya sabemos los profesionales dedicados a esta tarea.

Al punto f) y al párrafo 2 hay que añadir que es obvio que, si en la ubicación del edificio el riesgo sísmico es elevado la evaluación cualitativa no tiene mucho sentido, de tal manera que solo será aplicable cuando el riesgo sísmico es prácticamente nulo.

Pero no se olvide que, además, la primera condición es que se haya construido siguiendo reglas o normas antiguas, cosa bien difícil de averiguar de una forma objetiva.

Suponiendo que ha podido superar todas estas limitaciones, en el párrafo 3 se añade que un edificio evaluado cualitativamente es necesario controlarlo periódicamente durante el periodo de servicio restante.

El documento DB-SE continua estableciendo los procedimientos para expresar los resultados y las medidas a desarrollar durante la intervención del edificio que podrían ser de aseguramiento estructural técnico administrativo, o constructivas, según haya sido resultado de la evaluación que se haya realizado sobre el mismo.

### **6.2.3 Una observación corta pero muy importante**

Antes de finalizar este estudio del anejo D, es conveniente insistir en un aspecto que antes se ha pasado por alto. El punto D4 “Análisis estructural” en su párrafo1 insiste en que:

“para realizar el análisis estructural del edificio existente deben emplearse modelos que reflejen adecuadamente el estado actual del edificio y tengan en cuenta los procesos de deterioro que puedan resultar importantes”.

Es imprescindible establecer algún tipo de control sobre la representatividad del comportamiento de los edificios históricos de fábrica de los modelos de análisis estructural del tipo “elementos finitos”, que tiene un valor muy relativo según la opinión de grupos de expertos de categoría mundial.

Pasemos ahora a analizar las posibilidades de aplicación de los documentos básicos de fábrica y de madera.

### **6.3 El documento sobre Seguridad Estructural: Fábrica. SE-F.**

Si bien el SE-F deja bien claro desde el principio que no es aplicable a estructuras de muros históricas, su comparación con su documento matriz, el Eurocódigo 6, permite comprobar que éste no es tan excluyente. Por el contrario, en

los dos casos, el tipo de fábrica de una gran rigidez con la que necesariamente se deben construir los muros nuevos, se alejan considerablemente de los utilizados en la historia. Sin embargo, las fórmulas generales sobre la el factor de reducción por esbeltez que se incluyen en ambos documentos en sus anejos finales sí permiten abordar los casos históricos.

Por todo ello, si bien en su estado actual ni uno ni otro son aplicables a nuestros fines, sí es posible el desarrollo de nuevos documentos basados en ellos que lo permitan, tal como se propone en las conclusiones finales.

Con todo, no es esa la única aportación potencial del Eurocódigo. Si se comparan en igualdad de condiciones, los valores de las resistencias de las fábricas según el E-6 son bastantes mayores que los de la NBE-FL. Con lo cual, no sólo los edificios históricos se podrían evaluar mediante un documento reconocido sino que podrían llegar a tener mayores capacidades portantes que las que fueron atribuidas por la NBE en general bastantes bajas.

Veamos todo ello por partes.

#### **6.3.1 Sobre el ámbito de aplicación**

##### **Del SE-F**

La lectura de los dos puntos iniciales del apartado del mismo título del documento, deja claro que quedan excluidos del mismo todos los muros de edificios históricos, ya que quedan fuera de su ámbito los que carecen de elementos de encadenado de hormigón y de una forma expresa quedan fuera los que confían su estabilidad al rozamiento de los extremos de las viguetas y los que confían su estabilidad exclusivamente a su grueso o a su vinculación con otros muros perpendiculares sin colaboración de los forjados.



También quedan excluidos además, los muros de piedra cuyas piezas no sean regulares, es decir, mampuestos, o que no se asienten sobre tendeles horizontales, o los muros cuyo espesor se consigue con rellenos amorfos entre dos hojas de sillares, es decir, un muro de tres hojas. En definitiva, quedan fuera de su ámbito de aplicación todos los edificios históricos. Es razonable afirmar, pues, que no existe la más mínima posibilidad de aplicarlo a nuestro caso.

Sin embargo, no hay que olvidar que los documentos dirigidos a la Seguridad Estructural del Código Técnico, se derivan y en parte incluyen los Eurocódigos, y concretamente el dedicado a la fábrica, está relacionado con el Eurocódigo 6, "Proyectos de estructura de fábrica y su análisis". Una primera lectura de éste permite afirmar que, en principio, su aplicación es de un ámbito más amplio y que puede llegar a incluir algún tipo de fábrica histórica.

### **Del Eurocódigo 6**

En primer lugar, en ningún apartado del ámbito de aplicación del Eurocódigo 6 se especifica de una forma tan limitativa los tipos de muros o piezas. Se acepta sin ninguna limitación las piezas de piedra y la única expresión que aparece sobre el tipo de pared es una obra de fábrica civil o concretamente, "proyecto de edificios u obras de ingeniería civil de fábrica" sin especificar de qué tipo de fábrica se trata. Acepta la piedra, y en ningún lugar limita los mampuestos o que se requiera tendeles horizontales, aunque bien es cierto que en las imágenes que aparecen en las páginas 92, 93 están todas realizadas con piezas paralelepípedicas.

No parece que sean aceptables los mampuestos, pero al menos serán válidas sus conclusiones para cualquier tipo de ladrillos, aunque no dispongan de encadenados de hormigón a los forjados.

Para analizar las diferencias existentes entre el Eurocódigo y el Código Técnico SEF, es preciso especificar cuáles son las características de las estructuras de muros que se derivan del hecho de estar arriostradas o rigidizadas por un forjado de hormigón. Y sólo son dos: la limitación de la altura de pandeo del muro cargado y la contribución del forjado a la transmisión de los esfuerzos horizontales sean de viento, que en edificios históricos siempre son pequeños, o sean de sismo o terremoto, mucho mayores.

### **6.3.2 La altura de cálculo o efectiva**

#### **En el SE-F**

Se aborda en el apartado "5.2.5. Altura de cálculo del muro". En su párrafo 5 determina que la altura de cálculo  $h_d$ , de manera simplificada se puede determinar según cuatro casos. El a) y el c) consideran el muro arriostrado en cabeza y en base. En el b) no queda claro si está arriostrado en cabeza. Pero en el punto d) se incluye la posibilidad de tener un muro libre en cabeza para el cual, en consecuencia, propone una altura de cálculo igual a dos veces la altura. La penalización es evidente, pero no deja de sorprender el hecho de que acepte esta posibilidad cuando no ha sido aceptada en su ámbito de aplicación.

#### **En el Eurocódigo 6**

Aborda la cuestión en su punto "4.4.4.3 Determinación de la altura efectiva." En su párrafo (ii) establece lo siguiente: "muro arriostrado en la cima y en la base por pisos o cubiertas de madera a ambos lados al mismo nivel o por un forjado de madera en un solo lado con un apoyo no menor de 2/3 del espesor del muro ni menor que 85mm". El factor de reducción aplicable a la altura real del muro para encontrar la

altura efectiva es 1 a menos que la excentricidad de la carga en la cima del muro sea mayor a 0.25. En cuyo caso se seguirá tomando 1,

Es importante destacar que el Eurocódigo 6 acepta la posibilidad de tener forjados que arriostren los muros y que la reducción de la altura efectiva es prácticamente nula.

### **6.3.3 La resistencia frente a las acciones horizontales**

La segunda cuestión a comprobar es la de las acciones horizontales. El Eurocódigo 6 la aborda en el apartado “4.5 Muros transversos de fábrica”. En su párrafo 9 afirma: “Si un forjado no puede considerarse rígido en su plano, los esfuerzos horizontales soportados por los muros transversos serán las fuerzas transmitidas por los forjados directamente, a menos que se realice un análisis semirígido”.

Esta frase no aparece en el Código Técnico SE-F y en todo caso considera que la resistencia del edificio frente a acciones horizontales de fábrica, se consigue mediante los forjados funcionando como diafragmas rígidos y los muros dispuestos en la dirección de la acción. No acepta en ningún momento la existencia de forjados no rígidos, lo cual vuelve a destacar igual que en el apartado anterior que el Eurocódigo si que incluye la posibilidad de los forjados de madera o de un tipo no rígido.

### **6.3.4 Sobre la el factor de reducción por esbeltez**

La limitación que dificulta más la aplicación tanto del Eurocódigo o el Código Técnico a las fábricas históricas, es la derivada de la simplificación que hacen ambos explícitamente sobre la relación entre el módulo de deformación y la resistencia característica.

El Eurocódigo en su apartado “3.8.2 Módulo de elasticidad” en su párrafo (2) afirma “A falta de un valor determinado mediante ensayos el módulo secante instantáneo de una fábrica  $E$  para el análisis estructural puede tomarse igual a  $1000f_k$ ”

En el apartado “4.4.3. Factor reductor por esbeltez y excentricidad”, en su párrafo (ii) afirma: “Simplificando los principios del apartado 4.4.1, el factor de reducción a una media altura  $\Phi_m$  del muro, puede determinarse como se indica en la figura 4.2.”

Y a continuación añade una nota:

“NOTA: Las fórmulas a partir de las que se obtiene la figura 4.2. se dan en el anexo A, el valor de  $E$  se ha tomado a  $1000f_k$ ”

El Código Técnico en su punto “4.6.5. Deformabilidad”, en su párrafo 2 dice: “Como módulo de elasticidad secante instantánea de una fábrica puede tomarse igual a  $1000 f_k$ .” Aunque después cuando aborda en su apartado “5.2.4. Factor de reducción  $\Phi_m$ ”, no indica que todas las fórmulas que aparecen se basan en el mismo hecho del Eurocódigo, es decir que ha tomado mil veces  $f_k$ .

En consecuencia podemos decir que los de los dos documentos son criterios coincidentes.

Por esta razón, cuando se determina la esbeltez no aparece el módulo de deformación, cosa que si ocurría en la NBE-FL: en su tabla de excentricidad por deformación relacionaba la esbeltez geométrica con la deformabilidad y asignaba mayor excentricidad a mayor deformabilidad. Como Eurocódigo y Código Técnico solo consideran  $1000 f_k$  queda sin influir en la reducción de la capacidad portante el módulo de deformación. Es posible que para fábricas actuales ésto sea razonable pero no lo es para fábricas históricas.

La experiencia deducida del estudio de edificios históricos en los que se ha podido comprobar que ese módulo de deformación, nos dice que éste está muy lejos de ser mil veces la resistencia característica.

Quizás podría ser ésta una razón determinante para abandonar definitivamente el intento de aprovechar estos documentos para el análisis de las fábricas existentes.

Sin embargo, tanto el Eurocódigo como el Código Técnico contienen el anejo que da las formulas generales en las que se relacionan  $\Phi_m$  con cualquier módulo de deformación y cualquier  $f_k$ .

Los dos anexos, el anexo A del Eurocódigo y el anexo D del Código Técnico tienen una estructura muy similar, aunque el primero se extiende mucho más sobre ello. Gracias a ello podemos comprobar que, es factible encontrar formulas elaboradas por los redactores del Eurocódigo que nos permite aplicar todo lo que hemos visto antes para casos en los que la deformabilidad sea mayor.

Si son ciertas estas ecuaciones, se podría aplicar el Eurocódigo al menos a la determinación de la capacidad portante de muros solicitados a cargas centradas que es el caso más corriente dada la poca influencia en los edificios históricos de los momentos aportados por los forjados frente al peso propio de los muros.

Pero, si aplicando esas fórmulas se compara en igualdad de condiciones, los valores de las resistencias de las fábricas según el E-6 son bastantes mayores que los de la NBE-FL. Según eso, los edificios históricos podrían llegar a tener mayores capacidades portantes que las atribuidas por la NBE.

### 6.3.5 Comparación del E-6 con la NBE-FL90 (1)

#### Factor reductor de la capacidad portante $\phi_m$ del EC-6, para excentricidad nula

En función de las características de la fábrica, la expresión general, que se presenta fragmentada en la página 117 del Eurocódigo, es:

$$\phi_m = [1 - 2(e_{mk}/t)] e^{-\left\{ \left[ \left( \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \right) \left( \frac{f_k}{E} \right)^{1/2} \right] - 0,063 \right\} / \left[ 0,73 - 1,17 \left( \frac{e_{mk}}{t} \right) \right]^2 } / 2}$$

si  $E = 1000 f_k$ ,

$$\phi_m = [1 - 2(e_{mk}/t)] e^{-\left\{ \left[ \left( \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \right) - 2 \right] / (23 - 37 \left( \frac{e_{mk}}{t} \right)) \right\}^2 } / 2}$$

Su aplicación aparece en las gráficas de la figura 4.2 y en la tabla A.1 de la página 118. Los valores de  $\phi_m$  que corresponde a la excentricidad 0,  $e_{mk} = 0$ , surgen de la expresión:

$$\phi_m = e^{-\left\{ \left[ \left( \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \right) - 2 \right] / 23 \right\}^2 } / 2}$$

Aparecen en la tabla 1 en la columna de la izquierda

#### Transformación de $\eta$ (NBE-FL) en $\phi_m$ (EC-6)

Para poder comparar la tabla 5.9 de la NBE con la tabla A.1 de la página 118 del EC-6 se han de dar los siguientes pasos:

1) Fijar a qué fábrica de la NBE equivale la citada del EC en la que  $E = 1000 f_k$ .

En contra de lo que afirma la NBE en su artículo 5.2.4 y basándonos en lo que de manera mucho más clara exponía el PIET 70 "Obra de fábrica" la relación entre  $E$ ,  $f_k$  y  $\varepsilon$  es:  $E = f_k / \varepsilon$ .

En consecuencia, se puede afirmar que la fábrica equivalente a la del EC es la que la NBE le atribuye un  $\varepsilon = 1$ .

2) Se transforma el valor de  $\eta$  de la tabla de la NBE en el valor  $\phi_m$  del EC mediante una simple operación aritmética ( $\phi_m = 1 - 2\eta$ ), para las columnas de  $\varepsilon = 0,52$  y  $\varepsilon = 1$

**Tabla comparativa**

esbeltez $h_{ef}/t_{ef}$	EC-6	NBE-FL 90	
	$E=1000 f_k$ $\phi$	$\varepsilon=1$ $\phi$	$\varepsilon=0,54$ $\phi$
0	1	1	1
5	0,99	0,98	0,99
10	0,94	0,85	0,93
15	0,85	0,62	0,82
20	0,73	0,38	0,67
25	0,60	0,14	0,50
30	0,47	0	0,33

Se comprueba fácilmente que los valores  $\phi_m$  de la NBE son muy inferiores a los del EC que incluso son mayores a los de  $\varepsilon = 0,52$  que corresponden a una pared de sillería.

Es decir, que según el EC-6, una pared normal de ladrillo tiene mayor capacidad portante que una de magnífica sillería según la NBE-FL. El Eurocódigo asigna un valor de comportamiento estructural mucho más favorable que la NBE-FL.

Dada la importancia de la cuestión, parece imprescindible el profundizar sobre esta comparación.

### 6.3.6 Conclusión

Se puede concluir que el documento sería aplicable, no en su literalidad pero si en sus aspectos conceptuales básicos, a estructuras de fábrica históricas de ladrillo siempre que se ampliaran el ámbito de validez para resistencias características bajas y módulos de deformación bajos que pudieran ser representativos de estas fábricas. Para las que, en consecuencia, no sería necesario hacer un muestreo estadístico para encontrar sus resistencias características. Lo cual, facilitaría muchísimo esa evaluación estructural que, sin duda, debería ser conservadora de sus coeficientes de Seguridad.

---

(1) publicado en:

J. L. González, "Problemas específicos de las construcciones de paredes de obra de fábrica" en *Evaluación y rehabilitación estructural de edificios. Posibilidades de las técnicas numéricas y experimentales*. Monografía CIMNE nº 65, abril 2002. Barcelona

## **6.4 El documento Básico Seguridad Estructural: Madera SE-M**

Sobre su ámbito de aplicación, contrariamente al resto de los documentos básicos del CTE, el SE-M es extraordinariamente escueto: “El campo de aplicación de este DB es la verificación de la seguridad de los elementos estructurales de madera en edificación.”. Si son edificios nuevos o existentes es indiferente. Por lo tanto es de aplicación el criterio general del CTE que lo considera aplicable a un caso y a otro.

### **6.4.1 La asignación de las propiedades mecánicas de la madera aserrada.**

Según el apartado “2.2.1.1. Criterio general” sobre “2.2.1 Valores característicos de las propiedades de los materiales” del capítulo “2. Bases de cálculo”, “Como valores característicos de los materiales  $X_k$ , se tomarán los establecidos en el correspondiente apartado del capítulo 4...”

En el apartado “4.1 Madera maciza” en el párrafo 2 se afirma: “la madera aserrada, para su uso en estructuras, estará clasificada quedando asignada a una clase resistente (ver procedimiento de asignación en el Anejo C)”; en el párrafo 3 define que las clases resistentes para coníferas y chopo van desde la C14 a la C50 y para frondosas D30 a D70, indicando los números la resistencia característica a flexión; en el párrafo 4 “en el anejo E figuran los valores de las propiedades de resistencia, rigidez y densidad asociados a cada clase ...”

Sin entrar en detalles del “Anejo C. Asignación de clase resistente. Madera aserrada”, en la tabla C.1 “se establece para la madera aserrada con carácter informativo y no exhaustivo, la asignación de clase resistente” que van desde la C14 a la D40 por medio de normas de clasificación propias de los países de los que son preferentemente originarias las diferentes especies. Así para el pino es la UNE 56.544, para el abeto la NF B 52.001-4 o la DIN 4074 y otras más.

En el anejo E, apartado E.1, se asigna definitivamente a cada clase resistente los valores de las propiedades mecánicas.

Según el DB SE-F, dado que no dice nada en contra, este sería el camino a seguir. Pero la peritación de las estructuras existentes de madera ha sido una actividad que se ha desarrollado extraordinariamente en los últimos años y ha permitido llegar a conclusiones importantes de gran interés antes de publicarse el CTE ya que esa actividad de peritación tomo como base para la asignación de las clases resistentes los mismos criterios adoptados después por el CTE que no son otros que los descritos anteriormente.

### **6.4.2 La experiencia de los últimos años**

Para acceder a las conclusiones citadas tenemos a nuestra disposición dos documentos reciente avalados por el A.I.T.I.M. Arriaga (2002) y Arriaga (2005) que se citan completos en la bibliografía.

En el primero que constituye un tratado completo para intervenir en estructuras de madera se vierten las siguientes consideraciones.

#### **Según el texto “Intervención en estructuras de madera”**

“En principio, la estimación de la capacidad portante no debería diferir del proceso por el que se define la resistencia de las piezas de madera nuevas. Conociendo la especie de madera y su calidad, es inmediata la asignación de una determinada clase resistente (con los valores de las propiedades mecánicas correspondientes).

Sin embargo, en la práctica esta labor es más complicada debido al hecho de que la estructura ya está colocada y no siempre es fácil de inspeccionar. Resulta sencilla la identificación de la especie, pero dudosa la determinación de la calidad; las piezas suelen estar parcialmente ocultas, lo que dificulta la inspección visual y, además, las normas de clasificación actuales están pensadas para escuadrías mucho menores que las utilizadas habitualmente en edificios antiguos.

Pero no todo son inconvenientes; normalmente el edificio a inspeccionar tiene una edad suficientemente elevada como para que su historial de cargas, a lo largo de su vida, represente una prueba de carga de gran interés y fiabilidad. El tiempo depura, con paciencia, todos los errores constructivos y estructurales que pudieran haber existido. La estructura que nos llega presenta una garantía de su validez, sin entrar a considerar los posibles daños de origen biótico. Pero el problema vuelve a aparecer cuando aplicamos la normativa actual de clasificación y de acciones a la estructura y se constata que no es válida, en clara contradicción con la realidad.

El enfoque de la clasificación estructural de la madera para el proyecto de una obra nueva pretende definir el dimensionado de la estructura contando con un material nuevo a introducir en la obra. La utilización de valores característicos limitan la probabilidad de fallo a valores considerados razonables. Por el contrario, en una estructura existente sería posible, al menos en teoría, conocer con precisión la calidad y por tanto la resistencia de las piezas; es decir, la incertidumbre en el conocimiento del material desaparecería por lo que parece lógico que el planteamiento para la evaluación de la capacidad portante de la estructura difiera respecto al caso del proyecto de obra nueva.” (pág. 78)

“La calidad de la madera desde el punto de vista resistente se evalúa en función de la cantidad y tamaño de los defectos presentes en las piezas (nudos, fendas, desviación de la fibra, etc). Esta evaluación se efectúa mediante una inspección visual de acuerdo con una norma de clasificación y aquí radica uno de los problemas antes comentados. Las normas de clasificación resistente que se emplean en la actualidad están, generalmente, pensadas para escuadrías que pueden encontrarse en el mercado. Estas escuadrías suelen abarcar gruesos de 35 a 100 mm y a un canto máximo de unos 300 mm. Si bien es cierto que algunas normas de clasificación incluyen o, al menos no descartan, las grandes escuadrías, no existe suficiente experiencia en la asignación de una clase resistente. Un ejemplo claro de la dificultad de aplicación de estas reglas de clasificación se encuentra en la limitación de las fendas en la madera estructural; generalmente la aplicación de este criterio a la madera de grandes escuadrías provoca el rechazo de las piezas, debido a la gran magnitud de las fendas.” (Pág. 79)

“La aplicación directa de la normativa de clasificación precedente a las piezas de madera existentes en un edificio antiguo conduce a resultados descorazonadores, como se puede comprobar en el ejemplo siguiente. El análisis se realiza sobre una muestra de 29 vigas de madera antigua (dos grupos de edad de 100 y 150 años) de pino silvestre y pino pinaster (Arriaga et al. 1992). Se han elegido tres normas para la clasificación: normas recomendadas por ECE (ECE), norma UNE 56544 y norma DIN 4074. Los criterios de clasificación considerados son los principales: nudos, fendas, desviación de la fibra y gemas. En la tabla siguiente se comparan los rendimientos de cada calidad de cada norma y se incluyen las propiedades mecánicas correspondientes.

(...)

Aun teniendo en cuenta que la muestra analizada es muy reducida pueden extraerse las siguientes conclusiones:

La norma ECE resulta complicada de aplicar y deja un rechazo demasiado elevado del 44%.

La norma UNE 56544 presenta un elevadísimo porcentaje de rechazo (70%), principalmente debido a una exigencia alta en gemas. También tiene una exigencia demasiado elevada para las fendas, pero en la aplicación de la norma no se ha considerado la suma de longitudes de las fendas en toda la longitud de la pieza, sino la longitud de las fendas aisladas.

La norma DIN 4074 es la que presenta un rendimiento mejor, ya que prácticamente no hay piezas rechazadas, pero los resultados tienen una variación mayor que en los anteriores (lo que por otro lado es coherente).” (pág. 277)

### **Según el texto “Evaluación de la capacidad portante de piezas de gruesa escuadría de madera de conífera en estructuras existentes”**

“Se han clasificado visualmente 85 piezas de madera de gruesa sección (Pino silvestre y Pino pinaster) procedentes de varios edificios antiguos de acuerdo con las normas UNE 56544 y DIN 4074. El objetivo es establecer una metodología no destructiva para asignar propiedades mecánicas a las piezas de estructuras existentes de madera con gruesas escuadrías con un nivel de seguridad y de rendimiento aceptables.” (pág 43)

“La aplicación estricta de las reglas de clasificación implica la medición de varias singularidades (nudos, fendas, desviación de la fibra, gemas, etc.) en todas las caras de la pieza. Esto no es posible en la inspección de una estructura existente por razones de orden práctico; es más realista utilizar un método simplificado para la clasificación visual y, en algunos casos, incluir mediciones no destructivas como la velocidad de propagación de los ultrasonidos. Generalmente, la aplicación de unas reglas de clasificación visual a una estructura de madera antigua da como resultado un elevado porcentaje de piezas rechazadas. Este hecho dificulta la aceptación de una estructura antigua que ha sobrevivido sin problemas, en algunos casos, por cientos de años.” (pág. 44)

#### **6.4.3 Conclusiones**

La experiencia desarrollada recientemente por los especialistas en estructuras de madera, nos indica la dificultad insuperable de aplicar el SE-M y, al mismo tiempo, que es posible desarrollar documentos que, tomado como base los criterios generales del CTE, permitan evaluar de manera adecuada la capacidad estructural de las estructuras de madera existentes.

---

Arriaga Martitegui, Francisco ... et al, *Intervención en estructuras de madera* [Madrid] AITIM, DL 2002

Arriaga Martitegui, Francisco, “Evaluación de la capacidad portante de pieza de gruesa escuadría de madera de conífera en estructuras existentes”. en *Materiales de Construcción* Vol. 55, n. 280 (Oct.-Dic. 2005)

## 6.5 Consideraciones sobre el DB Seguridad Estructural: Cimentaciones

Ya se ha comentado anteriormente que el DB SE-C no contiene ninguna consideración sobre los edificios existentes, de manera que, dada la enorme diferencia que existe entre la cimentación histórica y la actual, podemos asegurar de manera radical, que es totalmente inaplicable a nuestro caso.

Pero es importante destacar que, al menos, sería imprescindible añadir de forma de complemento al capítulo 3 “Estudio geotécnico”, un conjunto de sistemas de reconocimiento del terreno propios de los edificios existentes que pasan por:

1) realizar este reconocimiento no en cualquier terreno, sino en el terreno bajo la cimentación existente, lo cual obliga a hacer una serie de catas y

2) extracción de muestras de ese terreno bajo esa cimentación, y los correspondientes ensayos *in situ* que sea posible realizar, lo cual no impide:

3) realizar sondeos de tipo habitual para reconocer la estratigrafía general que da soporte al terreno o la utilización de otros métodos que propone el propio documento como son el georadar, etc.

Pero cualquier observación de edificio histórico deberá pasar necesariamente por el estudio del terreno bajo su cimentación.

## 6.6 Conclusión general sobre el DB SE

Tal como ya se ha comentado al inicio de este capítulo dedicado a la Seguridad Estructural se constata que es un documento que ignora en la práctica la actividad de la evaluación estructural de los edificios existentes, en general, y en particular de aquellos que puedan considerarse edificios monumentales o propios de la arquitectura histórica más alejada de los sistemas actuales de la que quedan edificios de gran volumen o de gran interés arquitectónico.

Ha quedado comprobado que las posibilidades de la aplicación real al Código se reducen a edificios de fábrica de ladrillo o elementos de madera en el supuesto caso que se realicen los estudios complementarios ya citados.

De manera que resulta imposible aplicar el Código sobre una gran mayoría de edificios históricos.

El camino a seguir no puede ser otro que el que han seguido durante las últimas décadas los especialistas, tanto de arquitectura como de ingeniería, en su intervención en edificios históricos, los cuales, a lo largo de estos años han ido desarrollando un protocolo de actuación que incluye todo un conjunto de evaluaciones cualitativas y cuantitativas indispensables las unas a las otras de manera que sólo tienen sentido conjuntamente, entre las que se incluye un conocimiento profundo de la historia del edificio, de sus avatares, y del comportamiento de las patologías a lo largo de la historia; cuestiones que solo quedan muy someramente indicadas en el anejo D.

Por suerte, está a nuestra disposición un documento consensuado por la gran mayoría internacional de los especialistas agrupados en la ISCARSAH de ICOMOS. Este documento se propone aquí como una base para lo que podría ser un Documento Reconocido aplicable a los edificios del patrimonio arquitectónico-histórico. Para que se pueda valorar esta aportación se incluye como anexo a continuación.



## **7. CONCLUSIONES**

### **7.1. Los DB de cumplimiento obligado no resuelven los problemas planteados por las obras a realizar en edificios de carácter histórico**

En el apartado 3 del presente documento se ha comprobado que las exigencias planteadas en los DB son obligatorias, salvo las de ahorro de energía.

Y, tal como ha quedado claro a lo largo de toda la exposición del apartado 4, prácticamente ninguno de los DB contemplan soluciones que podamos considerar como habituales de la construcción existente o de la construcción patrimonial. Las soluciones propuestas por el Código están únicamente dirigidas a las obras de nueva construcción.

Podría haber sido diferente, ya que partiendo de que el Código es de aplicación obligatoria casi en cualquier obra de reforma bien podía haberse enfocado sus diferentes documentos, además de la obra nueva, a evaluar la existente y establecer los métodos para mejorarla. Pero no es así, salvo en el caso de las estructuras en las que sí aparece ese documento, que no es otra cosa que un método de verificación del cumplimiento de las exigencias por parte de las estructuras existentes.

Pero como ya ha quedado demostrado, si bien es aplicable a muchos edificios construidos relativamente hace pocos años, en hormigón armado o en estructura metálica, no le es en absoluto, ni a los edificios de obra de fábrica, a no ser que sean posteriores a 1972, año de aplicación de la MV-201, ni muchísimo menos a los edificios anteriores a esta fecha, que prácticamente, podríamos decir que es un porcentaje altísimo de los edificios existentes y protegidos.

La conclusión general es obvia, el Código Técnico obliga a su cumplimiento en cualquier obra de reforma, pero no da ningún tipo ni de método de verificación ni orientación sobre las soluciones habitualmente existentes, ni sobre como mejorarlas para que cumplan las exigencias que plantea. Por todo ello se presenta como muy razonable aprovechar las propuestas del propio CTE y desarrollar uno de sus Documentos Reconocidos específico para las obras de este tipo, tal como se argumenta a continuación.

### **7.2 La solución más apropiada puede ser desarrollar un Documento Reconocido específico para las obras a realizar en edificios de carácter histórico**

Es razonable que exista la opinión que considere que precisamente por el hecho de que el Código acepta soluciones alternativas (siempre que se demuestre que cumplen las prestaciones exigidas) no es necesaria la existencia de ningún tipo de complemento en relación con los edificios protegidos, ya que los arquitectos a los que se encargue un proyecto de reforma, rehabilitación o restauración, pueden proponer esas soluciones alternativas. No es necesario que el código se amplíe a tal efecto.

Sin embargo, también es razonable, o más, la opinión contraria: teniendo en cuenta que la rehabilitación en general de edificios existentes o la intervención en edificios protegidos forma parte importantísima de la actividad económica de la edificación, el código técnico tiene también que facilitar su aplicación en este caso. Es por tanto muy razonable la propuesta de que el Código Técnico se tiene que complementar con uno o varios documentos para los proyectos de intervención en edificios existentes y especialmente protegidos que aporten métodos de verificación de soluciones existentes y sus propuestas de mejora, que permitan cumplir el código en sus exigencias generales y en las prestaciones concretas.

Tomando partido por esta segunda opinión, es necesario dilucidar cuál puede ser este tipo de documento.

Podemos suponer dos propuestas diferentes:

a) redactar documentos complementarios para cada uno de los Documentos Básicos, extendiendo lo dicho en ellos a los edificios existentes, o bien,

b) reunir en un solo documento, de los que el Código denomina Reconocidos, todos los aspectos complementarios que hagan referencia al conjunto de todos los DB sobre edificios existentes protegidos.

Esta es la propuesta que se contiene en el presente documento.

Para su realización, obviamente, hay que contar con el trabajo de especialistas en las diferentes áreas, que será conveniente que queden todos ellos estudiados en conjunto para evitar los fallos de transversalidad que se detectan en los documentos actuales del Código

A lo largo del apartado 4 de presente documento se han ido exponiendo algunas ideas sobre aspectos concretos que se deberían recoger en este documento.

Las reunimos ahora con tal de facilitar su lectura.

### **7.3 Los capítulos del Documento Reconocido correspondientes a cada uno de los DB deberán desarrollar, por lo menos, los siguientes aspectos.**

#### **7.3.1 Protección contra el ruido**

Para los casos más habituales de nuestro parque edificado, se debe desarrollar un catálogo de doble entrada y la adaptación al caso del método general de verificación propuesto en el DB-HR.

En el primer capítulo del catálogo se deben indicar las características aislantes de ruido aéreo o de impacto de las soluciones constructivas más habituales de los edificios existentes. Se deberán distinguir por un lado los elementos cada uno por separado y por otro formando los conjuntos habituales. Para conseguir estos datos será necesario no sólo realizar campañas extensas de ensayos in situ sino aprovechar la extensísima experiencia contrastada al respecto ya existente en diversos países europeos por ejemplo en Francia.

En el segundo capítulo se deben recoger los resultados de ensayos en los que se evalúa la eficacia en el incremento del aislamiento a ruido aéreo y de impacto de las soluciones basadas en doblados de las paredes o forjados habituales que se han expuesto en el primer capítulo. La documentación francesa al respecto es muy extensa.

Para la adaptación del método de verificación citado se deberán realizar los ensayos que permitan trasladar los criterios válidos para obra nueva a los casos de los edificios existentes.

Para los casos menos habituales en los que sería difícil aplicar el método anterior, se deberá desarrollar un nuevo método que se apoye en mediciones in situ que, por medio de ensayos algo más simplificados de los normativos, nos determinen las características del conjunto de elementos constructivos en estudio. Sobre estos resultados se podrán aplicar los resultados del método anterior adaptado al caso.

#### **7.3.2 Protección contra la humedad**

Como método de verificación del cumplimiento de la exigencia se ha de aceptar, con las garantías que se considere necesarias, la comprobación fehaciente de que el muro enterrado o de fachada no deja pasar el agua en las condiciones climáticas más adversas, a pesar de no pertenecer a ninguna de las soluciones propuesta por el CTE. No hay mejor comprobación científica de que un elemento posee una determinada prestación que un ensayo a escala real y a tiempo real.

Como aportación de soluciones, se deberán considerar los diferentes procedimientos existentes en la actualidad sobre desecación de muros enterrados o desecación de muros en plantas bajas afectados por humedades de capilaridad,

estableciendo sus condiciones de aplicación en función de los tipos habituales de muros históricos. Un razonamiento equivalente es aplicable a los suelos de plantas bajas o subterráneos en contacto directamente con el terreno.

### **7.3.3 Seguridad frente al riesgo de caídas**

Resbaladidad de suelos. El método de verificación propuesto es de muy difícil aplicación a los pavimentos existentes e imposible si el pavimento tiene valor patrimonial. Es conveniente, pues, que se desarrolle o un estudio que asigne a los pavimentos existentes usuales o no tan usuales, su prestación según su resbaladidad, o bien, un ensayo mucho más sencillo de campo que pueda realizarse in situ sobre el pavimento a clasificar.

Barandillas. Se deberá desarrollar un estudio experimental y de observación de la casuística existente con el fin de establecer un criterio único a la hora de sustituir su altura por la profundidad del parapeto.

Discontinuidades en el pavimento. Desniveles. Escaleras y rampas. Para los casos en los que se planteen incompatibilidades entre la protección de un edificio patrimonial sobre la aplicación estricta de los criterios geométrico-formales derivados de discontinuidades en el pavimento, desniveles, escaleras y rampas, sería conveniente establecer unos criterios que contemplen las que se han denominado en esta documento soluciones o medidas compensatorias del riesgo. Parece imprescindible hacer un estudio de un número elevado de casos, ya que en general es difícil suponer cuáles son los más genéricos.

### **7.3.4 Seguridad en caso de incendio**

Las dificultades de aplicación derivan especialmente de la difícil adaptación de las características geométrico formales de los espacios existentes a las exigencias principalmente de evacuación. La casuística es extensa y compleja y no permite fácilmente establecer criterios generales de adaptación de los edificios a la seguridad contra incendios. Al igual que en el caso anterior sobre escaleras y rampas, debería ser aplicable el concepto de medida o solución compensatoria. Por ejemplo, si una vía de evacuación no cumple estrictamente con las condiciones establecidas, puede compensarse con un incremento de las instalaciones de detección y de extinción; la experiencia demuestra que en muchos aspectos son aceptadas por los servicios de bomberos por los ayuntamientos afectados.

Como consecuencia de todo ello, parece recomendable el desarrollar estudios sobre casos concretos en un número a determinar, siempre elevado, en los que se recojan las situaciones más usuales, que sirvan de criterio de base o de guía a la hora de proponer los proyectistas esas soluciones compensatorias para las carencias de cumplimiento que sean insuperables como consecuencia de las características del edificio existente.

Dado que las normas y reglamento sobre incendios están en vigor desde hace ya muchos años, igual que en el caso anterior pero con mucho mayor interés, será de mucha utilidad analizar la jurisprudencia o experiencia existente derivada de conflictos de que ya se hayan presentado al respecto.

### 7.3.5 Seguridad estructural

Fábrica. El DB sería aplicable, no en su literalidad pero si en sus aspectos conceptuales básicos, a estructuras de fábrica históricas de ladrillo siempre que se ampliaran su ámbito para resistencias características bajas y módulos de deformación bajos que pudieran ser representativos de estas fábricas.

Por otro lado, habrá que realizar un estudio comparativo amplio sobre los valores de las resistencias que asignaba la NBE-FL y las del EC-6 y del CTE con tal de situar los edificios que se calcularon con la NBE dentro del escenario diseñado por el CTE.

#### Madera

La experiencia desarrollada recientemente por los especialistas en estructuras de madera, nos indica la dificultad insuperable de aplicar el DB y, al mismo tiempo, que es posible desarrollar documentos que, tomado como base los criterios generales del CTE, permitan evaluar de manera adecuada la capacidad estructural de las estructuras de madera existentes

#### Cimientos

Es imprescindible desarrollar, en forma de complemento al capítulo 3 “Estudio geotécnico”, o formando parte del Documento Reconocido, un protocolo de reconocimiento del terreno propio de los edificios existentes que debería incluir:

- 1) realizar este reconocimiento en el terreno bajo la cimentación existente, lo cual obliga a hacer una serie de calas específicas y
- 2) extracción de muestras de ese terreno bajo esa cimentación, y los correspondientes ensayos *in situ* que sea posible realizar, todo lo cual no impide, obviamente:
- 3) realizar sondeos de tipo habitual para reconocer la estratigrafía general que da soporte al terreno o la utilización de otros métodos que propone el propio documento como son el georadar, etc.

#### El conjunto de todo el DB SE

Es un documento que no facilita en lo más la evaluación estructural de los edificios que puedan considerarse edificios monumentales o propios de la arquitectura histórica de la que quedan edificios de gran volumen o de gran interés arquitectónico.

Ha quedado comprobado que las posibilidades de la aplicación del Código se reducen, como mucho, a edificios de fábrica de ladrillo o elementos de madera y eso sólo en el supuesto caso que se realicen los estudios complementarios ya citados.

De manera que resulta imposible aplicar el Código sobre la gran mayoría de edificios históricos.

Una acción a desarrollar puede ser la adaptación del documento consensuado por los especialistas, tanto de arquitectura como de ingeniería, agrupados en la ISCARSAH de ICOMOS. Se basa en un conjunto de evaluaciones cualitativas y cuantitativas que sólo tienen sentido analizadas conjuntamente, entre las que se incluye un conocimiento profundo de la historia del edificio, de sus avatares, y del comportamiento de las patologías a lo largo de la historia cuestiones que solo quedan muy someramente indicadas en el anejo D del DB-SE.

Se propone explícitamente su adopción como punto de partida para la redacción del correspondiente apartado del Documento Reconocido de la aplicación del CTE a los edificios de carácter histórico.