

Anejo D Evaluación estructural de edificios existentes

D.1 Generalidades

D.1.1 Ámbito de aplicación

- 1 Este Anejo define las bases y los procedimientos para la evaluación estructural de edificios existentes, en concordancia con los principios del análisis de la seguridad estructural. Si bien los conceptos básicos para el análisis de la seguridad estructural de un edificio están establecidos en el Anejo C, en la evaluación estructural de edificios existentes puede existir un mayor grado de diferenciación de la seguridad que para el dimensionado estructural de edificios de nueva construcción, debido a consideraciones de tipo económico, social o medioambiental.
- 2 Los criterios generales establecidos en este Anejo son aplicables para la evaluación estructural de cualquier tipo de edificio existente, si se cumple alguna de las siguientes condiciones:
 - 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.
- 3 La evaluación de la seguridad estructural en caso de incendio está fuera del alcance de este anejo. No obstante, la evaluación de la seguridad estructural tras un incendio puede realizarse de acuerdo con las reglas aquí incluidas.

D.1.2 Consideraciones previas

- 1 No es adecuada la utilización directa de las normas y reglas establecidas en este CTE en la evaluación estructural de edificios existentes, construidos en base a reglas anteriores a las actuales para los edificios de nueva construcción, por los siguientes motivos:
 - c) toda evaluación debe realizarse teniendo en cuenta las características y las condiciones reales del edificio (lo que normalmente no está contemplado en las normas de dimensionado que incorporan la incertidumbre asociada al proceso);
 - d) las normas actuales suelen estar basadas en exigencias diferentes y generalmente más estrictas que las vigentes en el momento en que se proyectó el edificio, por lo cual, muchos edificios existentes se clasificarían como no fiables si se evaluaran según las normas actuales;
 - e) se puede considerar, en muchos casos, un período de servicio reducido, lo que se traduce también en una reducción de las exigencias;
 - f) se pueden emplear modelos de análisis más afinados (a través inspecciones, ensayos, mediciones in situ o consideraciones teóricas), lo que puede aportar beneficios adicionales.

D.2 Criterios básicos para la evaluación

D.2.1 Procedimiento

- 1 La evaluación estructural de un edificio existente se realizará, normalmente, mediante una verificación cuantitativa de su capacidad portante y, en su caso, de su aptitud al servicio, teniendo en cuenta los procesos de deterioro posibles. Para ello, puede adoptarse un procedimiento de evaluación por fases que tenga en cuenta las condiciones actuales del edificio, definiendo cada una de las fases en función de las circunstancias y condiciones específicas de la misma tales como la disponibilidad del proyecto original, la observación de daños estructurales, el uso del edificio, etc... y de los objetivos de la evaluación (D.2.3). En cada una de las fases se incrementa la precisión de las hipótesis para la evaluación, así como el grado de detalle de los métodos de análisis respecto de la fase anterior.
- 2 En edificios en los que no resulte posible o sea poco fiable una verificación cuantitativa, o cuando el edificio haya demostrado un comportamiento satisfactorio en el pasado, podrá realizarse una evaluación cualitativa de la capacidad portante y de la aptitud al servicio de acuerdo con los criterios enumerados en D.6.
- 3 El proceso de evaluación se considera finalizado cuando en alguna de las fases se alcanza una conclusión inequívoca sobre la seguridad estructural del edificio o sobre las medidas a adoptar. En

los casos en los que no resulte posible verificar una capacidad portante o una aptitud al servicio adecuada, el informe final debe contener también las recomendaciones necesarias sobre las medidas a adoptar.

D.2.2 Fases de la evaluación

1 Con carácter general pueden establecerse tres fases:

1ª Fase: Evaluación preliminar, que incluye en general:

- la recopilación y estudio de la documentación disponible y, en su caso, el levantamiento de planos;
- una inspección preliminar;
- la elaboración de las bases para la evaluación;
- la verificación preliminar de la capacidad portante y de la aptitud al servicio de los elementos estructurales principales.

2ª Fase: Evaluación detallada, que incluye en general:

- la determinación del estado del edificio mediante una inspección detallada, incluida la cuantificación de posibles daños;
- la actualización de la geometría y de los planos del edificio;
- la actualización de las características de los materiales;
- la actualización de las acciones;
- la actualización de las bases para la evaluación;
- el análisis estructural;
- la verificación de la capacidad portante y de la aptitud al servicio.

3ª Fase: Evaluación avanzada, con métodos de análisis de la seguridad, que incluye en general:

- la determinación de las situaciones de dimensionado determinantes;
- la adquisición, en su caso, de más datos sobre las características de la estructura o de los materiales, o sobre las acciones;
- la determinación de los modelos probabilistas de las variables;
- el análisis estructural;
- la verificación con métodos de seguridad.

D.2.3 Especificación de los objetivos

1 Antes del inicio de la evaluación deben establecerse claramente los objetivos de la misma, en términos de las prestaciones futuras del edificio, definidas éstas a partir de las siguientes exigencias:

- a) el nivel de seguridad en relación con la resistencia y la estabilidad estructural;
- b) la garantía de continuidad del funcionamiento en edificios de especial importancia, tales como hospitales, centros de comunicación o similares;
- c) las exigencias específicas de la propiedad en relación con la protección de los bienes (protección frente a pérdidas económicas) o con la aptitud al servicio. El nivel de estas exigencias se basa normalmente en requisitos funcionales específicos y en criterios de optimización.

D.3 Recopilación de información

D.3.1 Determinación del estado actual

1 Previamente a la evaluación de un edificio existente se determinará el estado actual del mismo, recabando toda la información relativa a:

- a) Las acciones de todo tipo, directas o indirectas (influencias) con los siguientes criterios:
 - El peso propio de los elementos podrá comprobarse en obra, adaptándose en consecuencia, los valores adoptados inicialmente, de acuerdo con la información previa;
 - Las sobrecargas de uso dependerán del uso futuro de la obra, pudiendo adoptarse, a efectos de la evaluación modelos específicos adaptados al caso estudiado (normalmente menos conservadores que los modelos correspondientes según el CTE). En estos casos, se adoptarán disposiciones adicionales con el fin de asegurar que no se sobrepasen los valores extremos establecidos;

- Las acciones climáticas a tener en cuenta pueden determinarse a partir de mediciones directas efectuadas en estaciones meteorológicas representativas para la obra objeto de la evaluación estructural, durante un periodo de tiempo adecuado. En este caso, en la determinación de estas acciones se tendrá en cuenta que sus efectos extremos no se pueden deducir directamente de los valores medidos. En el ajuste de los valores extremos se podrá tener en cuenta el periodo de servicio restante;
 - Se tendrán en cuenta las influencias ambientales de origen físico, químico o biológico que puedan afectar a las características de los materiales o a la resistencia de los elementos estructurales, así como los posibles cambios en las mismas que puedan producirse como consecuencia de una intervención. En los casos en los que existan incertidumbres, se determinarán mediante inspecciones, ensayos o mediciones.
- b) Las dimensiones de la obra, recopilando los datos de la misma y de los elementos estructurales, cuando la información disponible carezca de ellos, cuando se hayan realizado modificaciones y no exista documentación fiable al respecto, o cuando se observen discrepancias entre la información disponible y la situación real.
 - c) Características de los materiales empleados. Cuando las características de los materiales no se puedan deducir de manera fiable a partir de la información disponible, se determinarán mediante ensayos no destructivos o destructivos a partir de muestreos estadísticamente representativos, que tengan en cuenta el uso del edificio, así como las influencias ambientales.
 - d) El sistema estático y el comportamiento estructural, con los siguientes criterios:
 - se comprobarán en obra las condiciones de todo tipo que resulten determinantes para el comportamiento estructural, como las condiciones de apoyo, empotramientos, libertad de movimiento de apoyos y juntas o la capacidad de deformación.
 - cuando se determine experimentalmente el comportamiento estructural (estático o dinámico) de un edificio, en la evaluación e interpretación de los resultados se tendrá en cuenta que los ensayos se realizan con cargas de servicio, mientras que la capacidad portante se debe evaluar para estados más avanzados de carga.
 - e) los daños y anomalías existentes: deformaciones, desplazamientos, corrosión, fatiga y envejecimiento en general.

D.3.2 Evaluación de los ensayos y representación de los resultados

- 1 Cuando el número de resultados sea reducido, la aplicación de los métodos clásicos de la estadística puede conducir a valores conservadores, debido a la influencia de los errores de estimación. En estos casos, si se dispone de información previa, ésta podría combinarse con los resultados obtenidos, para mejorar la información.
- 2 La representación de los resultados obtenidos en la evaluación de los ensayos o de las mediciones dependerá del método de análisis empleado, semi-probabilista o probabilista.
- 3 Cuando se realice un análisis semi-probabilista, el objetivo de la evaluación de los ensayos o de las mediciones será la determinación del valor representativo de la variable correspondiente. La definición del valor representativo depende de la variable contemplada, y debe ser consistente con la definición del coeficiente parcial correspondiente. Salvo que exista información en sentido contrario, la definición del valor representativo de una variable se corresponderá con lo indicado en 3.3.
- 4 Cuando se realice un análisis probabilista, las variables que intervienen en una verificación se representarán mediante las correspondientes funciones de densidad de probabilidad. En muchos casos, estas funciones pueden ser caracterizadas a través de sus principales parámetros (valor medio, desviación típica, tipo de distribución). A falta de un análisis más detallado, a las variables se les asignará el mismo tipo de distribución que se haya tenido en cuenta en la calibración de los modelos para las acciones y para la resistencia estructural de edificios de nueva construcción (Anejo C).

D.3.3 Bases de cálculo

- 1 Se deben revisar y, según el caso, se adaptar o completar las situaciones de dimensionado que se hayan considerado en el proyecto original, teniendo en cuenta los daños y anomalías observados, así como la incidencia que estos puedan tener sobre los posibles mecanismos de fallo. Cuando no se disponga de las bases de cálculo del proyecto original, se establecerán las situaciones de dimensionado a efectos de la evaluación.

- 2 Las situaciones de dimensionado, así como las medidas previstas para alcanzar las exigencias relativas a la capacidad portante y a la aptitud al servicio deber reflejarse en las bases de cálculo actualizadas.

D.3.4 Control de riesgos: inspección y planificación de medidas

- 1 Podrán considerarse aceptables ciertos riesgos, bien por la baja frecuencia de ocurrencia de las situaciones que estén en su origen, o bien porque las consecuencias en caso de ocurrencia de una de estas situaciones resulten suficientemente pequeñas. La aceptación de estos riesgos requiere la adopción de medidas adicionales de inspección y de control (observación, inspecciones periódicas, mediciones de control, monitorización), cuyo objetivo consistirá en la detección de los posibles daños o anomalías en un estado temprano, para poder adoptar las medidas adecuadas que mitiguen los riesgos antes de que se pueda producir un evento no deseado. Los riesgos aceptados se reflejarán en la memoria.
- 2 El alcance y la intensidad de las medidas de inspección y de control, así como las medidas para la reducción de las consecuencias de los riesgos aceptados se determinarán en función de las características y de la importancia de la obra, así como en función del tipo y de las características de dichos riesgos.

D.4 Análisis estructural

- 1 Para el análisis estructural de un 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. Las incertidumbres asociadas con los modelos se tendrán en cuenta mediante coeficientes parciales adecuados en análisis semiprobabilistas y mediante la introducción de una variable del modelo en análisis probabilistas.
- 2 La influencia de los efectos de escala o de forma, de la duración de la aplicación de una carga, de la temperatura o de la humedad se tendrán en cuenta mediante coeficientes de conversión.
- 3 En el análisis se tendrá en cuenta el nivel de incertidumbre relativo a las condiciones y al estado de los elementos. A estos efectos, se podrá ajustar la dispersión asumida, entre otros, para la capacidad portante de los elementos, o para las dimensiones de sus secciones transversales.
- 4 Si se observa el deterioro estructural de un edificio existente, deben identificarse los mecanismos de deterioro y determinarse modelos de deterioro que permitan predecir el comportamiento futuro del mismo.

D.5 Verificación

D.5.1 Generalidades

- 1 Las exigencias relativas a la capacidad portante y a la aptitud al servicio dependerán del periodo de servicio restante que se estime. Las verificaciones de la capacidad portante y de la aptitud al servicio se efectuarán sobre la base de las situaciones de dimensionado actualizadas.
- 2 La evaluación de la capacidad portante de un edificio existente se efectuará teniendo en cuenta su capacidad de deformación así como su modo de fallo previsible. En particular, se determinará si es posible una redistribución de los esfuerzos y si a un inminente fallo le precederían deformaciones importantes.
- 3 En los casos en los que, durante el periodo de servicio restante, puedan producirse situaciones extraordinarias, éstas se tendrán en cuenta en la verificación de la capacidad portante.
- 4 Si durante el periodo de servicio restante actúan sobre el edificio cargas variables repetidas o si se pueden producir vibraciones por resonancia, se realizará una verificación de la seguridad frente a la fatiga.

D.5.2 Verificación de la capacidad portante

D.5.2.1 Evaluación preliminar

- 1 La verificación de la capacidad portante para el periodo de servicio restante se realizará a partir de los valores representativos actualizados de las acciones y de la información actualizada sobre la estructura, adoptando los coeficientes parciales de seguridad para las acciones y para la resistencia de acuerdo con lo establecido en el apartado 4.2 y en los documentos básicos de seguridad estructural de los diferentes materiales.

D.5.2.2 Evaluación detallada

- 1 La verificación de la capacidad portante para el periodo de servicio restante se realizará a partir de los valores representativos actualizados de las acciones y de la información actualizada sobre la estructura, adoptando coeficientes parciales de seguridad particularizados para las acciones y para la resistencia. Para la determinación de dichos coeficientes particularizados se tendrá en cuenta la influencia de los cambios –debidos a la adquisición de información– en las incertidumbres asociadas con las variables.
- 2 Los coeficientes parciales particularizados se calibrarán para que sean consistentes con el nivel requerido de seguridad estructural. Normalmente serán menos conservadores que los coeficientes correspondientes incluidos en los documentos básicos correspondientes para el dimensionado en edificios de nueva construcción.

D.5.2.3 Evaluación avanzada con métodos probabilistas

- 1 La seguridad estructural de un edificio podrá cuantificarse en términos de su fiabilidad, que tendrá en cuenta las incertidumbres asociadas con las distintas variables básicas. Dicha fiabilidad se representa a través de una probabilidad de fallo.
- 2 En el estado actual de los conocimientos no es posible definir un valor único para la probabilidad de fallo admisible. Se considera que un edificio correctamente dimensionado y construido según un conjunto consistente de reglas para la determinación de la resistencia y de las acciones, correspondientes al estado de la práctica en un determinado momento, es fiable en este momento y en el marco de dichas reglas.
- 3 La evaluación estructural de un edificio existente con métodos probabilistas, requerirá los siguientes pasos:
 - a) dimensionado estricto de la estructura que quiere evaluarse según un conjunto consistente de normas de acciones y de resistencia que estén en vigor;
 - b) determinación de la probabilidad de fallo de la estructura dimensionada en a), considerando para las variables básicas los parámetros que están implícitos en las especificaciones de las normas empleadas. La probabilidad de fallo así obtenida es la probabilidad de fallo admisible según las normas empleadas;
 - c) determinación de la probabilidad de fallo de la estructura que quiere evaluarse, utilizando los parámetros actualizados de las variables que intervienen en los cálculos.
- 4 La estructura evaluada tiene una seguridad estructural adecuada si la probabilidad de fallo de la estructura evaluada es menor o igual a la probabilidad de fallo admisible.

D.5.3 Verificación de la aptitud al servicio

- 1 Una estructura o un elemento estructural tiene un comportamiento adecuado para el periodo de servicio restante en relación con un determinado criterio, si para las situaciones de dimensionado consideradas se cumple que el efecto de las acciones no alcanza el valor límite establecido para dicho efecto. La verificación se realizará a partir de los valores representativos actualizados de las acciones y de la información actualizada sobre la estructura.
- 2 Los efectos de las acciones se determinarán de acuerdo con los objetivos de la evaluación establecidos, teniendo en cuenta los valores representativos actualizados de las acciones y de todas las influencias pertinentes, así como la información actualizada de la estructura. En ausencia de acuerdos específicos, estos efectos se determinarán según el apartado 4.3.
- 3 Los valores límite para los distintos efectos de las acciones deben estar en concordancia con el objetivo de cada verificación y se determinarán para cada caso. En ausencia de acuerdos específicos, se adoptarán como valores límite los valores nominales según 4.3.
- 4 La verificación de la aptitud al servicio se podrá realizar mediante métodos probabilistas, utilizando los parámetros actualizados de las variables que intervienen en los cálculos.

D.6 Evaluación cualitativa

D.6.1 Capacidad portante

- 1 Puede suponerse que un edificio que haya sido dimensionado y construido de acuerdo con las reglas de normas antiguas, tendrá una capacidad portante adecuada, si se cumplen las siguientes condiciones:

- a) el edificio se ha utilizado durante un periodo de tiempo suficientemente largo sin que se hayan producido daños o anomalías (desplazamientos, deformaciones, fisuras, corrosión, etc.);
 - b) una inspección detallada no revele ningún indicio de daños o deterioro;
 - c) la revisión del sistema constructivo permita asegurar una transmisión adecuada de las fuerzas, especialmente a través de los detalles críticos;
 - d) teniendo en cuenta el deterioro previsible así como el programa de mantenimiento previsto se puede anticipar una durabilidad adecuada;
 - e) durante un periodo de tiempo suficientemente largo no se han producido cambios que pudieran haber incrementado las acciones sobre el edificio o haber afectado su durabilidad;
 - f) durante el periodo de servicio restante no se prevean cambios que pudieran incrementar las acciones sobre el edificio o afectar su durabilidad de manera significativa.
- 2 Una evaluación cualitativa de la capacidad portante de un edificio existente puede ser insuficiente para situaciones de dimensionado extraordinarias.
 - 3 El comportamiento de un edificio cuya capacidad portante haya sido evaluada cualitativamente se controlará periódicamente durante el periodo de servicio restante. Para ello se emplearán los medios que se estimen necesarios, dependiendo de las características de la estructura, así como de las acciones e influencias que actúen sobre ella y de su estado.

D.6.2 Aptitud al servicio

- 1 Un edificio que haya sido dimensionado y construido de acuerdo con las reglas de normas antiguas podrá considerarse apto para el servicio, si se cumplen las siguientes condiciones:
 - a) el edificio se ha comportado satisfactoriamente durante un periodo de tiempo suficientemente largo sin que se han producido daños o anomalías, y sin que se han producido deformaciones o vibraciones excesivas;
 - b) una inspección detallada, no revela ningún indicio de daños o deterioro, ni de deformaciones, desplazamientos o vibraciones excesivas;
 - c) durante el periodo de servicio restante no se prevean cambios que puedan alterar significativamente las acciones sobre el edificio o afectar su durabilidad;
 - d) teniendo en cuenta el deterioro previsible así como el programa de mantenimiento previsto se pueda anticipar una adecuada durabilidad.

D.7 Resultados de la evaluación

- 1 Los resultados de la evaluación se documentarán en un informe que incluirá los trabajos efectuados, que traten al menos los siguientes aspectos:
 - a) objetivos de la evaluación;
 - b) descripción del edificio y de sus elementos estructurales; síntomas y lesiones;
 - c) recopilación de información y adquisición de datos;
 - d) documentación recopilada y analizada;
 - e) objetivos y planificación;
 - f) realización de inspecciones, catas y ensayos;
 - g) resultados;
 - h) análisis;
 - i) verificación;
 - j) diagnóstico;
 - k) opciones de intervención;
 - l) recomendaciones.
- 2 Cuando se demuestre una seguridad estructural adecuada, el edificio se podrá seguir usando en las condiciones establecidas. En estos casos, se definirá un programa de inspección y de mantenimiento en concordancia con las características y la importancia de la obra.
- 3 Cuando no pueda demostrarse una seguridad estructural adecuada, los resultados de la evaluación se podrán utilizar para la elaboración de las recomendaciones oportunas sobre las medidas a adoptar. Según el caso, estas medidas podrán ser técnico-administrativas o constructivas. En algunos

casos, las conclusiones de una evaluación preliminar pueden aconsejar la adopción de medidas preventivas de aseguramiento estructural del edificio (D.8).

- 4 Las medidas a adoptar para asegurar, restablecer o mantener la seguridad estructural de un edificio deben ser planificadas adecuadamente.

D.8 Medidas

D.8.1 Medidas de aseguramiento estructural

- 1 En el momento en el que la evaluación realizada así lo aconseje, especialmente en los casos en los que no se pueda demostrar una seguridad adecuada, se adoptarán medidas de aseguramiento estructural del edificio, tales como la restricción del uso del mismo, el apeo provisional de elementos estructurales, la puesta fuera de servicio y cierre de la obra o la evacuación de las zonas que pudieran estar afectadas por un posible derrumbe, según corresponda. El objetivo de las medidas de aseguramiento será primordialmente la protección inmediata de las personas o del medio ambiente.

D.8.2 Medidas técnico-administrativas

- 1 En función de los resultados obtenidos en una evaluación y para controlar, modificar o atenuar los riesgos de origen estructural, puede resultar adecuada la adopción de medidas técnico – administrativas como el control (permanente o periódico) del comportamiento estructural o de las condiciones de utilización, la limitación en la utilización del edificio, la instalación de dispositivos automáticos de aviso o de control activo, la puesta a punto de medidas de emergencia o la introducción de esquemas de evacuación. Dichas medidas se establecerán para cada caso, teniendo en cuenta la importancia de la obra, el riesgo para las personas o para el medio ambiente, el modo de rotura previsible (dúctil o frágil), las posibilidades de control y limitación de los daños, las distintas alternativas técnicamente viables y el costo absoluto o relativo al incremento de seguridad.

D.8.3 Medidas constructivas.

- 1 Según los resultados de la evaluación, puede resultar necesaria la adopción de medidas constructivas que incrementen la seguridad estructural de forma que se cumplan las exigencias acordes con los objetivos establecidos para el periodo de servicio futuro, tales como el incremento o reducción de la resistencia de elementos o de secciones, de la rigidez o de la masa, el incremento de la capacidad de deformación, la instalación de amortiguadores o el cambio del sistema estático.
- 2 Los elementos de refuerzo de una estructura se dimensionarán según las especificaciones para el dimensionado estructural de edificios de nueva construcción. Alternativamente, las verificaciones relativas a los elementos de refuerzo se podrán basar en una aplicación directa de los métodos de análisis de la seguridad.