Capítulo 15

Gestión de las estructuras de hormigón durante su vida de servicio

Artículo 74 Evaluación de estructuras existentes de hormigón

74.1 Objeto y planteamiento

La evaluación de estructuras existentes de hormigón persigue el objetivo de cuantificar los niveles de seguridad y funcionalidad de las estructuras y estimar la vida útil residual. Eso permite también identificar las zonas más sensibles o de mayores riesgos y, consiguientemente, orientar las actuaciones de reparación y refuerzo a las que se refieren los Artículos 75 y 76 siguientes.

En paralelo con el formato de proyecto y comprobación de estructuras de nueva planta, se mantiene, para la evaluación de estructuras existentes de hormigón, el marco de los Estados Límite.

La comprobación de los Estados Limites de Servicio (ELS) no se precisa, salvo que se plantee un cambio de uso, de evaluación analítica, puesto que puede deducirse de los resultados del conjunto de inspecciones que se haya llevado a cabo en la estructura (rutinarias, principales y, en su caso, especiales).

Por lo tanto, la evaluación de las estructuras existentes de hormigón se ciñe al ámbito de los Estados Límite Últimos (ELU). La satisfacción de cualquiera de los estados limite últimos obedece a la comprobación de la inecuación:

$$E_d \leq R_d$$

como en el proyecto de obra nueva. En caso contrario, salvo que se plantee otro criterio de análisis estructural deberá plantearse una intervención de reparación (con recuperación de los niveles de seguridad), de refuerzo o, en su caso, de limitación de cargas o, incluso, de sustitución de la estructura.

Por su parte, la determinación de la vida útil residual de una estructura de hormigón consistirá en deducir el período de tiempo, desde el instante de la evaluación, en el que la estructura o alguna de sus partes tarda en alcanzar alguno de los ELS o ELU identificados ya en la fase de proyecto o bien en el instante de evaluación. Los umbrales de aceptación, tanto en ELS como en ELU, están implícitos en las bases de proyecto y, en su caso, en el Programa de Inspección y Mantenimiento, como se explicita en el Capítulo 6.

74.2 Principios básicos del análisis de construcciones existentes de hormigón

Dado que la modificación, reparación y el refuerzo de una estructura existente puede resultar muy costosa, cabe plantearse la alternativa, no tan frecuente en la fase de proyecto de obra nueva, de utilizar criterios y procedimientos de análisis estructural más sofisticados, manteniéndose una lógica proporcionalidad entre la ingeniería asociada a estos refinamientos, el coste previsible y los beneficios esperables.

Para el análisis de construcciones existentes de hormigón, como señala el Artículo 25, es posible utilizar tanto un formato semi-probabilista con coeficientes parciales modificados, como un planteamiento probabilista.

El procedimiento de análisis estructural en estado limite último para la deducción de esfuerzos puede ser realizado a partir de modelos que se basan en el comportamiento elástico lineal de los materiales, en la teoría de la plasticidad (también denominado “análisis limite”) o procedimientos se análisis no lineal, como los que se plantea en el Capítulo 5 de los Anejos 19 y 21.de este Código En todo caso, cualquiera de los análisis estructurales mencionados, deberán incluir los deterioros o daños detectados en la estructura. Este planteamiento responderá al criterio clásico de comprobación planteado en la ecuación.

La comprobación estructural de elementos sometidos a esfuerzos que provocan tensiones tangenciales, como esfuerzo cortante, rasante, torsión, punzonamiento, etcétera, puede ser también llevada a efecto con modelos más generales, además de los clásicamente conocidos de bielas y tirantes.

Los aspectos particulares correspondientes a detalles como, anclajes y empalmes de barras, así como tendones de pretensado, podrán basarse en los planteamientos análogos a los considerados para

obra nueva, debiéndose comprobar que se corresponden con las bases en las que se sustentan dichos modelos.

74.3 Propiedades de los materiales

Las propiedades de los materiales admiten tres niveles de definición:

a) Valores tomados de la documentación del proyecto (resultados de los ensayos de control, valores definidos en los planos y en las bases de cálculo, resultados de ensayo posteriores en el contexto de inspecciones especiales realizadas, etc.).

b) Valores deducidos de una campaña de ensayos no destructivos (ultrasonidos, etc.) para el hormigón y la identificación de la armadura (tipo, límite elástico, diámetro y distribución) mediante la realización de catas adecuadamente planificadas y ejecutadas.

c) Extracción de probetas y ensayos en laboratorio, tanto del hormigón como de barras de acero.

El alcance de la investigación necesaria para caracterizar los materiales dependerá de la respuesta obtenida en el análisis previo, del tipo de mecanismo de fallo previsible y de lo determinante que resulte la caracterización del material en la capacidad portante general de la estructura o la pieza.

Será necesario asimismo considerar eventuales modificaciones a los valores de la resistencia del hormigón para tener en cuenta aspectos como la función del hormigón en el mecanismo resistente, esto es, si pertenece a un cordón comprimido, al alma de una pieza sometida a tensiones tangenciales o a una situación de estados múltiples de tensión, tal y como se establece en el Artículo 45.

Los cambios en el comportamiento de la estructura debidos al deterioro se deberían incorporar en los modelos teniendo en cuenta la forma en la que el deterioro influye en las variables asociadas.

74.4 Análisis estructural

Los criterios y procedimientos de análisis estructural responderán a los principios establecidos en el Capítulo 10 de este Código.

Artículo 75 Criterios generales para la reparación de estructuras de hormigón

75.1 Contexto general y objeto

El proyecto de reparación debe ser el resultado de un trabajo previo de estudio de la información disponible, de un análisis adecuado de evaluación estructural y de vida útil residual y, por tanto, de un diagnóstico preciso, que dictamine la causa o causas que explican los daños observados y que, eventualmente, condicionan su nivel de seguridad y vida útil residual.

Consiguientemente, la definición de cualquier tipo de reparación exige la detección previa de los tipos de deterioros presentes, la comprensión de los mecanismos que han dado lugar a cada deterioro o daño y las actuaciones correspondientes, incluyendo la prognosis de durabilidad de las mismas, aspecto asociado a la vida útil adicional que exija la propiedad.

El objeto de este artículo es presentar la sistemática que debe seguirse para proyectar y ejecutar la reparación de elementos estructurales de hormigón.

75.2 Clasificación de los deterioros y daños objeto de reparación

A los efectos de las estructuras existentes, los deterioros objeto de reparación se pueden clasificar en dos grandes grupos:

a) Deterioros y daños producidos por los procesos de degradación del propio hormigón: acciones mecánicas, físico-ambientales, químicas, etc.

b) Deterioros producidos por la corrosión de las armaduras, fundamentalmente asociados a la carbonatación del hormigón o a la presencia de cloruros.

75.3 Proyecto de reparación

Para la redacción del proyecto de reparación, se seguirá el siguiente procedimiento:

1. Inspección especial previa que, con carácter general, se habrá realizado antes de concluir en la necesidad de acometer un proyecto de reparación, como prevé el Artículo 24.
2. Elaboración de un mapa de daños o deterioros, como resultado de la inspección especial, asociado a un catálogo de daños o deterioros preparado desde la perspectiva de la solución de reparación y no tanto desde la etiología de los deterioros o daños. Dicho mapa representará, sobre planos, la ubicación y la identificación de los diferentes tipos de daño, con referencia explícita al catálogo de daños.
3. Formulación de un catálogo de soluciones que describa, para cada uno de los daños y deterioros identificados en ese catálogo, la solución prevista para su reparación.

En función de los criterios de vida útil adicional que se desee otorgar a la estructura de hormigón, de la importancia del elemento objeto de reparación, de su accesibilidad o de otras consideraciones (estéticas, históricas o patrimoniales), la propiedad convendrá con el proyectista si las soluciones de reparación tienen carácter

- activo o preventivo, asociado a la idea de impedir el deterioro, en lo sucesivo, del elemento en cuestión, lo que implica estrategias de protección con elementos de sacrificio o con sistemas de tan lento deterioro que, en la práctica, su degradación sea irrelevante; o
- pasivo, asociado a la idea de que, al cabo de un cierto tiempo, será necesario de nuevo proceder a una reparación, cuando se haya agotado la vida útil adicional conferida tras la reparación.

En el proyecto de reparación, los planos podrán incluir una síntesis del método de reparación propuesto por el proyectista. El pliego de condiciones técnicas particulares contendrá la identificación de las unidades correspondientes, las especificaciones de los materiales, la forma de ejecución y la definición de la forma de medición y abono.

75.3.1 Catálogo de daños y mapa de daños

Con el fin de identificar de manera inequívoca el estado de la estructura, el proyecto de reparación contendrá un catálogo de daños que, orientado a la elaboración del mapa de daños, incluirá:

- una denominación abreviada (un código corto de letras y números) para que se pueda incorporar al mapa de daños;
- una descripción sucinta pero suficiente del deterioro o daño objeto de reparación;
- unas fotografías o croquis suficientemente descriptivos del deterioro o daño correspondiente; y
- una identificación de la causa o causas que han producido estos deterioros o daños, aunque tengan orígenes diferentes pero manifestaciones similares y, sobre todo, se traten con la misma solución terapéutica.

El mapa de daños deberá incluir asimismo las referencias suficientes como para realizar la medición correspondiente y, en función de la posición de la zona objeto de reparación y de su accesibilidad, elaborar el correspondiente presupuesto.

75.3.2 Catálogo de soluciones de reparación

El proyecto contendrá una definición pormenorizada de los procedimientos de reparación de los elementos de hormigón estructural afectados por todos y cada uno de los daños y deterioros tipificados en el catálogo de daños y localizado en el correspondiente mapa de daños.

En el Artículo 40 se recogen los sistemas de reparación de estrategia de hormigón.

75.4 Plan de inspección y mantenimiento

En consonancia con los principios establecidos en el Artículo 24, el proyecto de reparación contendrá, como el de obra nueva, un Plan de Inspección y Mantenimiento con los contenidos referidos a las actuaciones de reparación emprendidas, con mención específica a:

- la vida útil prevista para la estructura reparada;
- la frecuencia deseable de las inspecciones de seguimiento de la estructura reparada;
- los criterios de inspección específicos que, en su caso, deban seguir los inspectores;
- las actuaciones de mantenimiento ordinario o especializado que, en su caso, deban realizarse.

De manera igualmente similar al caso de proyecto de obra nueva, una vez concluidos los trabajos, la dirección facultativa será responsable de la redacción de la actualización del plan de mantenimiento incluido en el proyecto de reparación. Dicho plan se entregará a la propiedad para la gestión de la conservación de la obra.

Artículo 76 Criterios generales para el refuerzo de estructuras de hormigón

76.1 Contexto general y objeto

Las actuaciones de refuerzo de estructuras de hormigón comparten con las de reparación la necesidad de haber desarrollado un trabajo previo de estudio de la información disponible, de un análisis adecuado de evaluación estructural y de vida útil residual y, por tanto, del punto de partida, en términos de prestaciones y vida útil residual, para el correcto planteamiento del alcance y procedimiento de refuerzo.

El objeto de este artículo es establecer la sistemática que debe seguirse a la hora de proyectar y ejecutar el refuerzo de elementos estructurales de hormigón.

76.2 Clasificación de los refuerzos estructurales en piezas de hormigón

A los efectos de las estructuras existentes, los trabajos de refuerzo que cabe emprender se pueden clasificar en dos grandes grupos:

a) Incremento de la capacidad de carga sin modificación de las secciones del elemento estructural.

b) Incremento de la capacidad resistente de la sección o de la pieza.

76.3 Procedimientos de refuerzo de piezas de hormigón

A partir de la clasificación realizada en el apartado 76.2, se plantean los dos procedimientos siguientes de refuerzo de estructuras existentes de hormigón.

La valoración estructural de todos los estados posibles, el inicial, los de las fases constructivas y el final requieren de un pormenorizado estudio, normalmente más complejo que el de las estructuras de nueva ejecución, que incorpora la necesidad de modelizar adecuadamente nuevos materiales y procesos constructivos o estados de solicitación que es preciso considerar cuidadosamente.

76.3.1 Refuerzo sin alterar la sección de la pieza

Es una estrategia que afecta al esquema estático global de la estructura y conduce a disminuir las solicitaciones del elemento afectado. Ello puede lograrse, por ejemplo, disminuyendo la carga muerta o

sustituyéndola por soluciones ligeras, disponiendo apoyos intermedios en los vanos, o bien haciendo uso del pretensado exterior.

Esta forma de proceder obliga al proyectista a identificar los modos de fallo previsibles, distintos, en general, de los correspondientes al esquema estático de partida, y a justificar la idoneidad de la solución, tanto en ELS como en ELU.

76.3.2 Refuerzo aplicado a la sección de la pieza

Se suele materializar con recrecidos de hormigón o micro-hormigón, con chapas o perfiles de acero, conectadas mecánicamente o adheridas. También pertenecen a este grupo las actuaciones de refuerzo con materiales compuestos.

También esta solución exige la identificación de los modos de fallo previsibles y sus correspondientes implicaciones en ELS y ELU, tanto en los materiales originales, en los materiales y dispositivos añadidos o en su conexión.

Para la elección de procedimiento más idóneo de refuerzo, se deberán tener en cuenta aspectos como:

- La entrada en carga y los mecanismos de transferencia.
- Confinamiento del hormigón existente y el correspondiente incremento de sus prestaciones resistentes y de deformabilidad.
- La historia de cargas previa y la derivada del proceso constructivo.
- Otros condicionantes de ejecución.

76.4 Proyecto de refuerzo

La redacción de los proyectos de refuerzo seguirá, como criterio general, el siguiente orden, coherente con los principios establecidos en este Código Estructural:

1. Inspección especial previa que, con carácter general, se habrá realizado antes de concluir en la necesidad de acometer un proyecto de refuerzo, como prevé el Artículo 24. Especialmente importante en este punto es valorar el nivel de seguridad, porque de éste depende el alcance y magnitud del refuerzo.
2. Estudio de alternativas de refuerzo, con el fin de disponer de distintas posibilidades de refuerzo, con sus ventajas en inconvenientes, incluidas las fases de construcción y de mantenimiento posterior.
3. Redacción, propiamente dicha, de los documentos del proyecto, cuyo carácter es ya relativamente convencional.

76.5 Plan de inspección y mantenimiento

En consonancia con los principios establecidos en el Artículo 24, el proyecto de refuerzo contendrá, como el de obra nueva, un Plan de Inspección y Mantenimiento con los contenidos referidos a las actuaciones de refuerzo emprendidas, con mención específica a:

- la vida útil adicional prevista para la estructura reforzada en su conjunto y la de sus elementos parciales, en su caso;
- la frecuencia deseable de las inspecciones de seguimiento de la estructura reforzada;
- la necesidad, eventualmente, de disponer un sistema de auscultación de seguimiento;
- los criterios de inspección específicos que, en su caso, deban seguir los inspectores;
- las actuaciones de mantenimiento ordinario o especializado que, en su caso, deban realizarse.

De manera igualmente similar al caso de proyecto de obra nueva, una vez concluidos los trabajos, la dirección facultativa será responsable de la redacción de un Programa de Inspección y mantenimiento que complete o actualice las previsiones del Plan de Inspección y mantenimiento incluido en el proyecto de reparación. Dicho Programa se entregará a la propiedad para la gestión de la conservación de la obra.