

# Anejo nº28. Plan de inspección y mantenimiento de estructuras de hormigón

## Índice

|          |                                                                       |          |
|----------|-----------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>1</b> | <b>Antecedentes .....</b>                                             | <b>2</b> |
| 1.1      | Tipos de ambiente.....                                                | 2        |
| 1.2      | Métodos de ensayo y pruebas. ....                                     | 2        |
| 1.2.1    | Introducción.....                                                     | 2        |
| 1.2.2    | Evaluación de las propiedades del hormigón.....                       | 3        |
| 1.2.3    | Evaluación de la armadura.....                                        | 4        |
| <b>2</b> | <b>Programación de las actuaciones. ....</b>                          | <b>4</b> |
| 2.1      | Introducción. ....                                                    | 4        |
| 2.2      | Elementos a revisar con mayor frecuencia y causas determinantes. .... | 5        |
| <b>3</b> | <b>Análisis de las estructuras del Servicio. ....</b>                 | <b>7</b> |
| 3.1      | Introducción. ....                                                    | 7        |
| 3.2      | Metodología .....                                                     | 8        |
| 3.2.1    | Recopilación de información.....                                      | 8        |
| 3.2.2    | Inspección visual .....                                               | 9        |
| 3.2.3    | Levantamiento de daños.....                                           | 9        |
| 3.2.4    | Evaluación de los daños .....                                         | 10       |
| 3.2.5    | Valoración de las patologías.....                                     | 10       |
| 3.2.6    | Cálculo de índices .....                                              | 12       |
| 3.2.7    | Valoración e índice de daños.....                                     | 12       |
| 3.2.8    | Conclusiones y recomendaciones.....                                   | 12       |

## 1 Antecedentes

---

El adjudicatario de las obras redactará un plan de inspección y mantenimiento de estructuras basado en el presente documento y las actuaciones finalmente llevadas a cabo en la ejecución de las obras.

Estas Recomendaciones tratan de proporcionar a los técnicos orientaciones para el establecimiento de un plan de mantenimiento, adecuado a cada obra de hormigón y ejecución final. El mantenimiento de las obras es una de las actividades necesarias para garantizar la seguridad y el bienestar de los usuarios, la protección del medioambiente y la funcionalidad de las construcciones. El plan de mantenimiento ha de adaptarse a cada elemento finalmente adoptado, considerando el ambiente en que está situada y el uso a que está sometida, teniendo en cuenta siempre, como información de partida, el proyecto de la misma, los datos del control de calidad de los materiales y la ejecución y el proyecto detallado de la definición y situación final de la obra.

El procedimiento que a continuación se desarrolla, se basa fundamentalmente – aunque no únicamente - en un sistema de inspecciones oculares realizadas por personal debidamente cualificado.

Se enumeran, de forma resumida, las técnicas experimentales hoy disponibles para ampliar o profundizar la información obtenida en las inspecciones oculares. Esta enumeración no tiene como objeto explicar la forma de aplicar las técnicas indicadas, ya que la mayoría de ellas suponen un alto nivel de especialización, sino indicar al técnico inspector del mantenimiento el repertorio de métodos auxiliares cuyo empleo puede solicitar.

Debe señalarse que las inspecciones oculares realizadas por un técnico con la adecuada formación y experiencia son una pieza esencial en el mantenimiento de las estructuras de hormigón y que sería un error grave dar importancia únicamente a los ensayos y pruebas. El mantenimiento adecuado de las construcciones es una obligación del propietario y un derecho del usuario, así como la utilización de las obras exclusivamente para los fines previstos en el proyecto.

### 1.1 Tipos de ambiente.

Una estructura debe ser proyectada y construida para que, con una seguridad aceptable, sea capaz de soportar todas las acciones que la puedan solicitar durante la construcción y el período de vida útil previsto en el proyecto, así como la agresividad del entorno, definida en el Artículo 8 de la Instrucción en función de las clases de exposición que pueden provocar la degradación de un elemento estructural.

No obstante, durante el período de vida útil de la estructura, ésta requerirá la aplicación de unos trabajos de mantenimiento, que serán definidos en función de los tipos de ambiente. **En el caso actual, Zonas a la intemperie expuestas a la acción directa del agua, incluso el agua residual y de las heladas.** Estos no se corresponden con las clases de exposición definidas para establecer la agresividad ambiental, ya que éstas se circunscriben únicamente a procesos de deterioro, mientras que los ambientes de mantenimiento están definidos con un horizonte más amplio, fundamentalmente orientados al mantenimiento integral (juntas, aspectos estéticos, limpieza, etc.).

### 1.2 Métodos de ensayo y pruebas.

#### 1.2.1 Introducción.

Existe una gran variedad de métodos disponibles para la realización del diagnóstico de estructuras de hormigón armado y sus materiales. Según los fenómenos de degradación que puede sufrir el hormigón, existen métodos más o menos adecuados para la detección o cuantificación de tales fenómenos y para el estudio de la influencia de ellos en la capacidad resistente y en la durabilidad.

En general, la evaluación del estado de una estructura de hormigón puede requerir la utilización de una combinación de varios métodos ya que no existe una única técnica de ensayo disponible que pueda detectar todos los factores potenciales de degradación. Se considera el uso de la inspección visual como base del programa de actuación a desarrollar, ya que, realizado por personal debidamente cualificado, se estima como un método válido para detectar la mayor parte de las posibles degradaciones y zonas potenciales de degradación que a su vez se reflejan en síntomas visibles sobre la superficie de la estructura. No obstante, considerando su limitación para poder detectar degradaciones internas cuando no producen dichos síntomas en la superficie y el hecho de tener una fuerte dependencia del juicio del inspector basado en su experiencia, en ocasiones tendrá que ir acompañada de ensayos de campo y en laboratorio.

A continuación se enumeran los tipos de ensayos más significativos actualmente disponibles que pueden complementar las inspecciones visuales considerando los diferentes materiales, hormigón, armaduras, y sistemas de pretensado e indicando los parámetros que permiten controlar o determinar.

### 1.2.2 Evaluación de las propiedades del hormigón.

Los diferentes métodos de evaluación se pueden agrupar en dos categorías: directos e indirectos. En los primeros se incluye la inspección visual y la extracción de testigos para ensayos y análisis de materiales, o bien una combinación de ambos. Los métodos indirectos consisten en medir algunos parámetros con los cuales se puede hacer una estimación del tipo y extensión de la degradación a partir de correlaciones existentes con dichos parámetros.

Para hacer una relación de los más usuales, los agrupamos en: inspección visual, ensayos no destructivos y ensayos destructivos sobre muestras.

#### 1.2.2.1 Inspección visual

Como se ha mencionado es el método base utilizado en el programa de inspección. Una inspección visual de calidad de la superficie del hormigón permite detectar degradaciones que se reflejan en efectos visibles sobre la superficie de la estructura, tales como fisuración, desconchados, exfoliaciones, deformaciones, asientos o desplomes excesivos, signos de abrasión o erosión, evidencias de ataque químico, reacciones entre los álcalis del cemento y los áridos, y otros mecanismos de degradación activos. Ante la presencia de fisuras, es importante la distinción entre las que son debidas a un comportamiento funcional normal del hormigón de aquellas que son consecuencia de algún proceso de degradación. En este caso, la inspección visual debe incluir la localización y registro de la fisuración existente, con indicación de su tamaño, tipo y cantidad, de forma que los registros de inspecciones sucesivas puedan ayudar a identificar las causas y determinar el grado de actividad de la fisura.

#### 1.2.2.2 Ensayos no destructivos

Los más usuales son:

- **Métodos acústicos o de propagación de ondas de presión** Se usan para determinar propiedades del hormigón (medidas de velocidad de ondas ultrasónicas) o para localizar e identificar defectos puntuales u objetos en el hormigón (por la transmisión y reflexión de las ondas mediante los métodos de análisis espectral de ondas superficiales, eco-sónico o de impacto eco).
- **Métodos esclerométricos.** Se basan en la estimación de la dureza superficial del hormigón. Permiten dar una idea de la resistencia del hormigón mediante la correlación entre ésta y la distancia de rechazo de un martillo, o la huella impresa por una bola al chocar contra la superficie del hormigón. UNE 83307-86)
- **Radiografía y técnicas nucleares.** El más utilizado es la radiografía con rayos X o rayos gamma. El método consiste en emitir radiaciones con una fuente desde un lado de la superficie de ensayo y colocar una película fotográfica al otro lado. La energía recogida en

la película es función de la densidad del medio que atraviesa, por tanto son útiles para determinar la posición de armaduras, vainas, grietas, coqueras y variaciones en la compactación.

- **Detector magnético.** La base de este método es el principio de inducción magnética y es aplicable a materiales ferromagnéticos solamente. Es útil para medir el espesor de recubrimiento y determinar el tamaño y trazado de la armadura en profundidades de hasta unos 100-120mm.
- **Radar (o Método de propagación de ondas electromagnéticas)** Son técnicas análogas a los métodos ultrasónicos, utilizando energía electromagnética con frecuencias en un rango entre 20MHz y 2GHz.
- **Termografía** El método está basado en la teoría de transmisión de calor. Mediante un transmisor de infrarrojos y un detector capaz de medir pequeñas variaciones de temperatura del orden de 0,1º C, se determinan las distribuciones irregulares de temperaturas.

#### 1.2.2.3 Ensayos semidestructivos sobre muestras.

Cuando mediante la inspección visual o los ensayos no destructivos se detectan síntomas patológicos pero no se puede cuantificar su extensión o naturaleza, hay que recurrir a la extracción de probetas testigo de las zonas degradadas. Estas probetas pueden utilizarse para cuantificar la anchura o profundidad de una grieta, determinar las características mecánicas del hormigón, analizar sus componentes, y detectar corrosiones en el acero de armaduras u otro tipo de ataque químico.

Ya que la extracción de testigos es un ensayo destructivo de una parte de la estructura deteriorada, debe evitarse el corte de armaduras principales, para ello suele utilizarse un detector magnético de armaduras, que permite localizar la presencia y trazado de armaduras próximas a la superficie, así como determinar los espesores de recubrimiento.

#### 1.2.3 Evaluación de la armadura.

Los medios de evaluación relacionados con la armadura son los métodos de determinación de su posición y tamaño, y los de detección de la corrosión. Los métodos utilizados en la evaluación de la corrosión son la inspección visual, ensayos mecánicos y ultrasónicos, pruebas químicas (carbonatación y perfil de cloruros) y físicas (porosidad y permeabilidad al agua), métodos eléctricos (medidas de resistividad y mapa de potenciales) y medidas de velocidad de corrosión.

## 2 Programación de las actuaciones.

### 2.1 Introducción.

La observación del estado de las estructuras, primera actuación relativa a los trabajos de mantenimiento y conservación de las mismas, se pauta, a lo largo del tiempo, estableciendo unas fechas para realizar las revisiones necesarias.

La primera revisión, denominada Revisión Inicial, del estado de la estructura es la primera acción de mantenimiento y pretende observar el estado de aquella después de su puesta en servicio. La Revisión Inicial establecerá el estado de referencia de la estructura, y servirá de elemento de comparación para las observaciones que se realicen en el resto de las Revisiones Pautadas. En ella se apreciará si, generalmente por causas de tipo mecánico, como los asentamientos, o por defectos en el proceso del proyecto, de la selección de los materiales y de la ejecución de la estructura, existen deterioros, que podemos denominar iniciales, y que podrían afectar a la durabilidad de la estructura o a su resistencia.

El resto de las Revisiones Pautadas alertarán sobre posibles deterioros que se presenten a lo largo de la vida de servicio de la estructura y que puedan afectar a su durabilidad o a su resistencia, entendiendo como tal la capacidad que tiene la estructura de satisfacer adecuadamente las prestaciones de seguridad y servicio exigibles. El periodo de tiempo a transcurrir entre las Revisiones

Pautadas no se fija, porque la frecuencia de revisión está relacionada con el buen estado de conservación de la estructura que se haya apreciado en la revisión anterior. Es decir, el resultado de una revisión determina el momento, razonablemente adecuado, en el que se deberá realizar la próxima revisión.

Los tipos de actuación previstos son los siguientes:

- (1) Inspección visual
- (2) Revisión del proyecto original y, en su caso, del control del proyecto
- (3) Revisión de los datos disponibles de la ejecución, incluyendo los materiales empleados y del control de calidad
- (4) Ensayos no destructivos relacionados con la durabilidad o la resistencia
- (5) Ensayos de laboratorio relacionados con la durabilidad o la resistencia
- (6) Evaluación resistente de la estructura, cuando sea necesario.

| Revisión                              | Objeto                                                                                                                                                                                                            | Tipo                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Período                                                      |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| <b>Inicial</b>                        | Observación:<br>Comportamiento estructural                                                                                                                                                                        | (1) Inspección visual<br>(2) Revisión del proyecto original                                                                                                                                                                                                                               | En el 3er año de servicio                                    |
| Ampliación de los tipos de revisión   |                                                                                                                                                                                                                   | Pueden ser necesarios los tipos (3), (4), (5) y (6) en función de la evaluación del resultado                                                                                                                                                                                             |                                                              |
| <b>1ª Revisión pautada</b>            | Observación:<br><b>Comportamiento estructural</b><br><b>Comportamiento de otros materiales o unidades de obra asociados a la estructura (revocos, pinturas, etc.)</b><br><b>Comportamiento de la durabilidad.</b> | (1) Inspección visual<br>(2) Revisión del proyecto original<br>(3) Revisión de los datos disponibles de la ejecución<br>(4) Ensayos no destructivos relacionados con la durabilidad<br>(5) Ensayos de laboratorio relacionados con la durabilidad                                         | En el 9º año de servicio                                     |
| Observaciones                         |                                                                                                                                                                                                                   | Los tipos (4) y (5) se realizarán de modo complementario en función de los resultados de los tipos (1), (2) y (3)                                                                                                                                                                         |                                                              |
| Ampliación de los tipos de revisión   |                                                                                                                                                                                                                   | Puede ser necesario el tipo (6) en función de la evaluación del resultado                                                                                                                                                                                                                 |                                                              |
| <b>Siguientes revisiones pautadas</b> | I1 E1                                                                                                                                                                                                             | Como la 1ª Revisión pautada                                                                                                                                                                                                                                                               | En el 15º año de servicio y cada 15 años posteriormente      |
|                                       | I2 E2                                                                                                                                                                                                             | Como la 1ª Revisión pautada                                                                                                                                                                                                                                                               | En el 15º año de servicio y cada 10 – 15 años posteriormente |
|                                       | I3 E3<br>M1, M2 y M3 U1 y U2<br>IN1, IN2 y IN3                                                                                                                                                                    | Como la 1ª Revisión pautada                                                                                                                                                                                                                                                               | En el 15º año de servicio y cada 5 – 15 años posteriormente  |
| Observaciones                         |                                                                                                                                                                                                                   | La evaluación del resultado de los tipos (1), (2) y (3) dará lugar, en su caso, a los tipos (4) Ensayos no destructivos relacionados con la durabilidad<br>(5) Ensayos de laboratorio relacionados con la durabilidad<br>(6) Evaluación resistente de la estructura, cuando sea necesario |                                                              |

## 2.2 Elementos a revisar con mayor frecuencia y causas determinantes.

Pueden existir elementos estructurales que por sus características específicas, y en función de acciones que a lo largo de su vida de servicio pueden alterar su buen estado, necesiten de un mayor control del mismo, a modo de mantenimiento preventivo. Además antes de llevar a cabo modificaciones del uso previsto, se debe realizar un estudio previo.

También existen elementos complementarios de aquellos de carácter estructural, cuyo deterioro puede afectar el buen funcionamiento del conjunto cuyas condiciones de garantía pueden incluir periodos diferentes a los que corresponde a los elementos estructurales. Ambas razones justifican que determinados elementos pueden precisar revisiones con periodicidad diferente a la indicada.

| Elemento                                             | Periodicidad                                                                                                    | Actuación                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Acciones a realizar                                            |
|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| <b>Elementos de contención de tierras</b>            | En las revisiones establecidas , o antes si se aprecian anomalías, o tras un período de fuertes lluvias         | Inspección del muro y terreno colindante.                                                                                                                                                                                                                                                                               | Dictamen de la solución y, en su caso, solución a adoptar      |
|                                                      | Modificaciones del uso previsto                                                                                 | Precaución con las zanjas paralelas al muro                                                                                                                                                                                                                                                                             | Estudio previo                                                 |
|                                                      | Modificaciones del uso previsto                                                                                 | Acumulación de material en el trasdós del muro                                                                                                                                                                                                                                                                          | Retirada del material                                          |
|                                                      | Modificaciones del uso previsto                                                                                 | Precaución con elementos que introducen carga en el trasdós o sobre el muro                                                                                                                                                                                                                                             | Estudio previo                                                 |
| <b>Juntas</b>                                        | Anual                                                                                                           | Vigilancia del estado del material de la junta                                                                                                                                                                                                                                                                          | Renovar cuando sea preciso                                     |
| <b>Apoyos</b>                                        | Quincenal                                                                                                       | Vigilancia del estado                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Renovar cuando sea preciso                                     |
| <b>Drenaje de elementos de contención de tierras</b> | Cada seis meses o cuando se aprecie humedad                                                                     | Comprobación del funcionamiento de los desagües y arquetas                                                                                                                                                                                                                                                              | Si se aprecia anomalía, reparación de la obstrucción           |
| <b>Cimentaciones</b>                                 | En las revisiones establecidas , o antes si se aprecian anomalías                                               | Revisión de anomalías en el edificio                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Valoración de su importancia, peligrosidad y medidas a adoptar |
|                                                      | Modificación del uso previsto                                                                                   | Evaluación por un técnico competente                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Estudio previo                                                 |
| <b>Forjados, Losas, Placas y Tableros</b>            | En las revisiones establecidas , antes si se aprecian anomalías, o cuando se detecte una sobrecarga no prevista | Acumulación de sobrecargas no previstas                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Prohibición absoluta                                           |
|                                                      | En las revisiones establecidas o antes si se aprecian anomalías, especialmente humedades                        | Observación de fisuras en los elementos constituyentes o en elementos sustentados<br>Observación de fisuras en cielos rasos, tabiquerías y elementos de cerramiento<br>Señales de humedad<br>Observación de deformaciones<br>Observación de movimientos en los apoyos<br>Observación de fisuras y cejas en el pavimento | Valoración de su importancia, peligrosidad y medidas a adoptar |
|                                                      | Apertura de huecos                                                                                              | No se realizarán salvo evaluación por técnico competente                                                                                                                                                                                                                                                                | Estudio previo                                                 |
|                                                      | Modificaciones del uso previsto                                                                                 | Evaluación por un técnico competente                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Estudio previo                                                 |

|                         |                                                                                                                  |                                                                                                          |                                                                |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| <b>Vigas y Dinteles</b> | En las revisiones establecidas o antes si se aprecian anomalías, especialmente humedades                         | Inspección de fisuras, deformaciones o lesiones                                                          | Valoración de su importancia, peligrosidad y medidas a adoptar |
|                         | En elementos que forman parte del alzado de la obra, en las revisiones establecidas, o antes si aparecen manchas | Inspección de fisuras, deformaciones o lesiones antes de proceder, en su caso, a la pintura del elemento |                                                                |
|                         | Apertura de huecos o cajeados                                                                                    | No se permitirá                                                                                          |                                                                |
| <b>Pilares</b>          | En las revisiones establecidas o antes si se aprecian anomalías, especialmente                                   | Observación de fisuras o cualquier tipo de lesión o señales de humedad                                   | Valoración de su importancia, peligrosidad y medidas a adoptar |
|                         | humedades                                                                                                        |                                                                                                          |                                                                |
|                         | Apertura de huecos o cajeados                                                                                    | No se realizarán                                                                                         |                                                                |
|                         | Modificaciones del uso previsto                                                                                  | Evaluación por un técnico competente                                                                     | Estudio previo                                                 |

### 3 Análisis de las estructuras del Servicio.

#### 3.1 Introducción.

Se realizará una valoración inicial del estado de conservación en el que se encuentran los elementos de obra civil presentes en la EDAR a partir de una exploración visual realizada por técnicos cualificados y con experiencia suficiente con el fin de elaborar un análisis con un propósito meramente informativo. La metodología se complementará con la debida consulta de referencias y bibliográfica para la confección del análisis, la formulación química que define el desarrollo de algunos de los procesos narrados en esta documentación es aclaratoria e informativa; los paralelismos establecidos entre dichas formulaciones y los signos hallados *in situ*, por observación directa, se basan en criterios propios de los técnicos que han elaborado el presente informe pero nunca apoyados en ensayos químicos de laboratorio; por extensión, las conjeturas propias de los demás desperfectos analizados son fruto del análisis visual.

La durabilidad de una estructura, según el capítulo 11.1 del Código Estructural en vigor, se define como *su capacidad para soportar, durante la vida útil para la que ha sido proyectada, las condiciones físicas y químicas a las que está expuesta, y que podrían llegar a provocar su degradación como consecuencia de efectos diferentes a las cargas y sollicitaciones consideradas en el análisis estructural*. Sin embargo, el hormigón no es un material perdurable, sino que sus capacidades iniciales pueden variar con el tiempo como consecuencia de las condiciones en que se desarrolla su vida útil, motivo por el cual es preciso tomar una serie de precauciones para el mantenimiento de sus características con el fin de preservar las capacidades esenciales de las estructuras dentro de unos parámetros convenientes.

Junto con la adopción de la estrategia Durabilidad, el Código Estructural, en vigor, al igual que anteriores normas e instrucciones, propone una completa batería de conceptos dirigidos a mejorar la calidad del resultado de los materiales puestos en obra con el fin de garantizar unas condiciones de servicio y unas propiedades próximas a lo ideal durante toda la vida útil de cada elemento estructural. Sin embargo, empíricamente, observamos cómo los hormigones de edad avanzada, especialmente los localizados en ubicaciones con ambientes extraordinariamente agresivos, muestran con frecuencia fisuración o porosidades muy altas, pese a que su aspecto inicial fuese inmejorable, lo que origina la aparición de diferentes patologías en las secciones estructurales. En

estos casos excepcionales las labores de vigilancia, control y evaluación de la durabilidad cobran una relevancia especial.

Para ello, el Capítulo 6 del Código Estructural, Bases generales para la gestión de las estructuras durante su fase de servicio, dedica su Artículo 24. Criterios generales para el mantenimiento de las estructuras y el Artículo 25. Criterios generales para la evaluación de estructuras existentes a detallar las actividades que han de llevarse a cabo con el fin de evaluar y mejorar las condiciones durables de la estructura, así como de proponer el plan de mantenimiento conveniente.

El control de las estructuras es una tarea fundamental durante el tiempo de actividad de cualquier construcción, máxime si se proyectan períodos de vida útil largos. Los factores que influyen sobre la durabilidad del hormigón se agrupan en diferentes ámbitos según su naturaleza: en la dosificación intervienen directamente los materiales utilizados, la ejecución, puesta en obra y curado y las propiedades del hormigón, propiamente dichas; además, deben tenerse en cuenta las solicitaciones a que están expuestos los elementos estructurales y sus tipos, así como la exposición ambiental.

El Código Estructural comenta en el capítulo 11.3.1 Criterios generales, dentro de la descripción de la Estrategia de Durabilidad, que *el proyecto incluirá un plan de mantenimiento que identifique todas las operaciones de mantenimiento derivadas de la estrategia de durabilidad que se ha adoptado para la estructura. Asimismo, identificará aquellos elementos cuya reposición esté prevista, así como su frecuencia.*

Es una obviedad hacer referencia a que los proyectos de las infraestructuras que nos ocupan disponen las condiciones de diseño y ejecución de las estructuras pero, debido a su antigüedad del proyecto original, carecen de cualquier iniciativa al respecto del plan de mantenimiento o a la gestión posterior a la ejecución; así pues, las referencias citadas son ventajistas en su concepción respecto a aquella situación, puesto que, por ejemplo, en las instrucciones de hormigón más antiguas no se consideraba el efecto de la carbonatación sobre las estructuras de hormigón armado, no se tenía en cuenta el efecto de corrosión bajo tensión en alambres de pretensado ni se proyectaba una estrategia de mantenimiento, pero, de cualquier modo, cabe emplear las herramientas y los conocimientos actuales con el fin de mejorar las estructuras en servicio con el fin de redundar en una mayor seguridad.

## 3.2 Metodología

La estrategia de peritaje se compone de distintas etapas, que se ejecutarán de forma ordenada quedando reflejadas en un informe de valoración final.

### 3.2.1 Recopilación de información

Inicialmente, se llevará a cabo una búsqueda de los proyectos de ejecución originales con el fin de poder valorar las estructuras de mayor antigüedad, así como las partes reutilizadas en los elementos que hayan sido reformados, y se procederá al estudio de las tipologías constructivas de cada elemento para la comprensión del funcionamiento estructural y las tensiones a que habrá podido estar sometido cada uno de ellos desde el momento de su puesta en servicio. En el caso de que no se conserven los proyectos originales, se tratará de localizar otros de tipología semejante o similar a fin de hallar la posible disposición de las diferentes partes y sus secciones constructivas.

Cabe, en este punto, referir el diseño, dimensionamiento y disposición de las tipologías constructivas a la época en que se realizase cada proyecto, considerando así las normas y legislatura en vigor en cada etapa, haciendo constar, de este modo, los materiales y las técnicas constructivas existentes en cada momento, teniendo en cuenta así las capacidades resistentes de las estructuras durante su ejecución y las que eran previsibles a lo largo de la vida útil para la que fueron diseñadas.

En caso de no disponer de ninguna información, y si se considera oportuno y relevante, podría realizarse, incluso, un modelo de cálculo que tomaría las propiedades teóricas que se estimen según

las observaciones del estado de las secciones estructurales y sus dimensiones para la simulación de las condiciones de trabajo actuales, para la valoración del trabajo de las estructuras.

### 3.2.2 Inspección visual

Posteriormente, tendrá lugar la visita a cada uno de los elementos estructurales que integran el Servicio con el fin de inspeccionar visualmente el estado de cada uno de los elementos que forman las estructuras. De este modo, se revisarán pormenorizadamente las secciones de hormigón armado que componen los elementos de Obra Civil, incluyendo los paramentos verticales, las losas de solera, los pilares, las vigas y las cubiertas en busca de una serie de patologías que se agruparán en las siguientes categorías principales:

- Fisuras
- Disgregación
- Pérdida de material/lavado
- Humedad
- Eflorescencias
- Corrosión
- Vegetación
- Juntas de hormigonado
- Pintura en mal estado
- Uso/conservación
- Otros

Estas categorías están preestablecidas a título orientativo de cara a la visita de campo para la inspección concreta de los elementos de Obra Civil, esto es, aquellos elementos estructurales que se componen de secciones de hormigón armado. En el caso de las estructuras metálicas y de aquellas secciones ejecutados en otros materiales comunes en depósitos de agua, como el poliéster reforzado de fibra de vidrio (PRFV), chapa galvanizada, polietileno, u otros, se ajustarán las categorías a las que más se asemejen a las patologías que puedan darse, cubriendo en todo caso los desperfectos o los daños hallados en los elementos inspeccionados.

Durante estas visitas se anotará en fichas de campo toda la información relevante para la comprensión de los posibles daños y patologías y se realizará un amplio reportaje fotográfico, que se adjuntará a las fichas de campo. Ya en gabinete se elaborarán las Fichas de daños con toda la información recogida en campo.

| FICHA DE DAÑOS       |               |                            |
|----------------------|---------------|----------------------------|
| Denominación:        |               | INSPECCIÓN BÁSICA (VISUAL) |
| ELEMENTO ESTRUCTURAL |               |                            |
| DAÑO OBSERVADO       | OBSERVACIONES | Nº DE FOTOGRAFIA           |
|                      |               |                            |
|                      |               |                            |
|                      |               |                            |
|                      |               |                            |
| CROQUIS              |               | OTROS DATOS DE INTERÉS     |
|                      |               |                            |
|                      |               |                            |

*Modelo de Ficha de daños*

### 3.2.3 Levantamiento de daños

En este punto, se toman todos los datos recopilados en las Fichas de daños y se elabora un informe en el que se distribuye, para cada sección o elemento estructural, cada uno de los daños y patologías hallados según el tipo de daño o de patología, según las categorías previamente mencionadas. Para cada uno de los daños o patologías se realizará una síntesis en la que se basará

la posterior valoración, describiendo, siempre que sea posible lo observado dentro de los siguientes parámetros:

- Descripción
- Extensión
- Intensidad
- Gravedad
- Causa

Este informe podrá ir ilustrado con las fotografías más relevantes de los daños y patologías observados.

### 3.2.4 Evaluación de los daños

A partir del Informe de Levantamiento de Daños, se sintetizará nuevamente la información recopilada en una serie de Fichas de evaluación y valoración.

| EVALUACIÓN DE DAÑOS          |      |                                     | Fecha de la inspección:                            |     |     |     |     | 22/06/2021                                                                                                                                                                                                                    |              | ambling     |  |
|------------------------------|------|-------------------------------------|----------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-------------|--|
| Denominación:                |      |                                     | Depósitos. Muros                                   |     |     |     |     |                                                                                                                                                                                                                               |              |             |  |
| ÍNDICE DEL DAÑO              |      |                                     |                                                    |     |     |     |     |                                                                                                                                                                                                                               |              |             |  |
| DAÑO                         | CÓD. | SÍ                                  | LOCALIZACIÓN                                       | EXT | INT | GRA | INF | OBSERVACIONES                                                                                                                                                                                                                 | VALOR        | FOTOGRAFÍAS |  |
| Fisuras verticales           | 01   | <input checked="" type="checkbox"/> | Cara interna y cara externa de todos los depósitos | 10  | 3   | 9   | 1,0 | Grietas verticales que se prolongan desde 1/3 hasta 2/3 de la altura total, en algunos casos a lo largo de toda la altura del muro                                                                                            | 58,5         |             |  |
| Fisuras horizontales         | 02   | <input checked="" type="checkbox"/> | Cara interna y cara externa de todos los depósitos | 10  | 3   | 7   | 1,0 | Fisuras pasantes detectadas entre 3,5 y 6 m de altura sobre caras exteriores e interiores del muro, coincidiendo con la altura del agua contenida así como con la variación del espesor del alambre pretensado.               | 45,5         |             |  |
| Disgregación                 | 03   | <input type="checkbox"/>            |                                                    |     |     |     |     |                                                                                                                                                                                                                               | 0,0          |             |  |
| Pérdida de material / lavado | 04   | <input type="checkbox"/>            |                                                    |     |     |     |     |                                                                                                                                                                                                                               | 0,0          |             |  |
| Humedad                      | 05   | <input checked="" type="checkbox"/> | Cara interna y cara externa de todos los depósitos | 4   | 3   | 3   | 0,7 | Detectada humedad procedente de las fisuras horizontales hacia el interior del depósito.                                                                                                                                      | 7,4          |             |  |
| Eflorescencias               | 06   | <input checked="" type="checkbox"/> | Cara interna y cara externa de todos los depósitos | 4   | 2   | 3   | 0,5 | Detectada la presencia de sales en la región de las fisuras existentes el interior del muro.                                                                                                                                  | 4,5          |             |  |
| Corrosión                    | 07   | <input checked="" type="checkbox"/> | Muros de todos los depósitos                       | 10  | 10  | 10  | 1,0 | Se observa el desprendimiento de la capa de recubrimiento, que en este caso está compuesta por una capa de gunita aplicada sobre el paramento exterior del muro. Ello ocasionó la corrosión del acero del alambre pretensado. | 100,0        |             |  |
| Vegetación                   | 08   | <input type="checkbox"/>            |                                                    |     |     |     |     |                                                                                                                                                                                                                               | 0,0          |             |  |
| Juntas de hormigonado        | 09   | <input type="checkbox"/>            |                                                    |     |     |     |     |                                                                                                                                                                                                                               | 0,0          |             |  |
| Pintura en mal estado        | 10   | <input type="checkbox"/>            |                                                    |     |     |     |     |                                                                                                                                                                                                                               | 0,0          |             |  |
| Uso / conservación           | 11   | <input type="checkbox"/>            |                                                    |     |     |     |     |                                                                                                                                                                                                                               | 0,0          |             |  |
| ÍNDICE                       |      |                                     |                                                    |     |     |     |     | 215,85                                                                                                                                                                                                                        | MUY AFECTADO |             |  |

*Ejemplo de Ficha evaluación y valoración*

Estas fichas integrarán los datos asociados a las observaciones en cada elemento estructural y referidos a las secciones o partes en las que se ha detectado su presencia, y se aportará una valoración numérica en base a la metodología desarrollada por Ambling para el análisis de la influencia de los daños y patologías sobre el funcionamiento de la estructura en cuestión como a continuación se describe.

### 3.2.5 Valoración de las patologías

Se utiliza un sistema combinatorio de puntuaciones que considera una serie de factores denominados extensión, intensidad, gravedad e influencia asociados a cada uno de los daños.

Cada uno de los valores tomará una puntuación entre 1 y 10 según los criterios que a continuación se detallan:

**Extensión ([C]<sub>E</sub>):** se asigna a cada daño una puntuación que va de 1 a 10 según el grado de espacio ocupado por el daño en el cuerpo o en las distintas partes de que conste el elemento.

**Intensidad** ( $[C]_I$ ): coeficiente que mide el grado de desarrollo del daño o de la patología en cuestión sobre el elemento a que afecta.

|                            | Intensidad                                                                                       |   |                                   |   |                                     |   |                                    |   |                                   |    |  |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---|-----------------------------------|---|-------------------------------------|---|------------------------------------|---|-----------------------------------|----|--|
|                            | 1                                                                                                | 2 | 3                                 | 4 | 5                                   | 6 | 7                                  | 8 | 9                                 | 10 |  |
| Fisuras (abertura en mm)   | <0,1                                                                                             |   | 0,1-0,5                           |   | 0,5-1                               |   | 1-4                                |   | >4                                |    |  |
| Disgregación               | Muy baja                                                                                         |   | Baja                              |   | Media                               |   | Alta                               |   | Muy alta                          |    |  |
| Pérdida de material/lavado | Lavado de finos                                                                                  |   | Descamaciones                     |   | Desconchones                        |   | Eliminación de recubrimiento       |   | Supresión del material            |    |  |
| Humedad                    | Manchas poco notables                                                                            |   | Manchas muy notables              |   | Manchas húmedas                     |   | Superficie muy húmeda              |   | Flujo de agua, goteo              |    |  |
| Eflorescencias             | Manchas muy leves                                                                                |   | Manchas apreciables               |   | Pequeños depósitos de material      |   | Material cristalino o gel visibles |   | Depósitos de cristales o gel      |    |  |
| Corrosión                  | Manchas en el hormigón                                                                           |   | Desprendimiento del recubrimiento |   | Armadura visible con corrosión <30% |   | Corrosión 30-60%                   |   | Corrosión >60%, cercos destruidos |    |  |
| Vegetación                 | Superficial (manchas)                                                                            |   | Musgo                             |   | Plantas                             |   | Raíces pequeñas                    |   | Raíces grandes, troncos           |    |  |
| Juntas de hormigonado      | Junta expuesta                                                                                   |   | Decoloración superficial          |   | Manchas notables                    |   | Pérdida de material de relleno     |   | Pérdida de capacidad estanca      |    |  |
| Pintura en mal estado      | Manchas muy leves                                                                                |   | Decoloración                      |   | Pintura fisurada                    |   | Pintura agrietada y semidestruida  |   | Pérdida de la capa de pintura     |    |  |
| Uso/conservación           | Varios elementos: se valora según la importancia del daño en el cometido del elemento analizado. |   |                                   |   |                                     |   |                                    |   |                                   |    |  |

**Gravedad** ( $[C]_G$ ): señala la intensidad regional de la patología en el material que afecta. En un medio tan agresivo químicamente para los materiales de construcción, este factor obtiene una relevancia clave en el análisis, en el que computa de 1 a 10, como el resto.

**Influencia** ( $[C]_{In}$ ): indica la importancia del daño en función del análisis realizado en el levantamiento de daños; mide la posibilidad de que el elemento cese en el ejercicio de su función a causa del daño en cuestión.

Una vez obtenidos los cuatro coeficientes, se calcula el índice de daños (I) de cada patología en base a este algoritmo:

$$I = \left( \frac{C_E + C_I}{2} \right) \cdot C_G \cdot C_{In}$$

Es decir, se calcula el promedio de los coeficientes de extensión e intensidad y posteriormente se ponderan con los coeficientes de gravedad e influencia.

| Evolución del daño por agentes químicos                                             |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |  |  |  |
| Hormigón manchado                                                                   | Humedad manifiesta                                                                  | Lavado de finos                                                                     | Eliminación de recubrimiento                                                         | Proliferación de musgos en huecos profundos                                           | Corrosión de la armadura sin recubrimiento                                            |

### 3.2.6 Cálculo de índices

Los índices son estimaciones numéricas del estado funcional de una estructura de forma cualitativa y en relación con un rango de valores predefinido. Para este caso se han tenido en cuenta los siguientes criterios:

| Índice | Valoración   | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <30    | Muy leve     | El elemento se encuentra en buen estado de conservación pese a contar con algunas deficiencias visibles. Recomendadas medidas de prevención.                                                                                                                          |
| 30-60  | Leve         | El elemento está en un estado razonablemente adecuado para el uso, aunque presenta daños concretos y bien definidos en un estado de desarrollo temprano. Recomendadas medidas de corrección.                                                                          |
| 60-90  | Media        | La estructura presenta daños evidentes, aunque todavía no plenamente desarrollados. Necesidad de correcciones y una evaluación cuantitativa para valoración más concluyente.                                                                                          |
| 90-120 | Afectado     | Los fallos observados están plenamente desarrollados y afectan a partes clave del elemento. La evaluación cuantitativa con toma de medidas es urgente, así como la reparación de los daños.                                                                           |
| >120   | Muy afectado | Los daños en los elementos revisten una importancia que excede la cautela. Se exige un análisis profundo y detallado ya que la posibilidad de colapso (o bien el fallo funcional) es plausible. En última instancia se plantearía el cierre provisional del elemento. |

### 3.2.7 Valoración e índice de daños

El índice de daños es un valor que resulta de la evaluación y cuantificación de todos los daños observados teniendo en cuenta para su cálculo la combinación de una serie de factores que son, como se ha explicado en la introducción, la extensión, la intensidad, la gravedad y la influencia sobre cada elemento estudiado. La valoración es la nomenclatura que se atribuye a cada intervalo de índices de daños resultados del análisis, deduciéndose de estos rangos unos grados de importancia que posibilitan una valoración más ágil, aunque menos pormenorizada.

Es preciso aclarar que las valoraciones asignadas a cada elemento analizado no tratan de indicar el grado de urgencia de una hipotética reparación, sino que ponen de manifiesto, a raíz de la naturaleza del algoritmo (que funciona como un agregador de los daños producidos por cada patología) el grado de deterioro global de cada pieza.

| Elemento                                                                  | Índice de daños | Valoración   |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------|
| Obra de llegada: pilares, losas, forjado, cubiertas placa prefabricada... | 129,75          | MUY AFECTADO |
| Elevación de agua buta                                                    | 50,10           | LEVE         |
| Edificio de bombeo a pluviales                                            | 0,70            | MUY LEVE     |
| Canales de desbaste                                                       | 15,60           | MUY LEVE     |
| Edificio de soplantes desarenado                                          | 48,30           | LEVE         |
| Desarenador                                                               | 67,50           | MEDIO        |
| Decantación primaria. Decantadores primarios (alzados)                    | 117,50          | AFECTADO     |
| Decantación primaria. Canal de reparto                                    | 22,95           | MUY LEVE     |
| Bombeo de fangos primarios. Zona de acceso (escalera)                     | 68,00           | MEDIO        |
| Urbanización. Mobiliario urbano, pavimento, arquetas. Varios elementos    | 90,80           | AFECTADO     |
| Galerías: paramentos                                                      | 14,00           | MUY LEVE     |
| Cámara de cloración. Alzados                                              | 12,40           | MUY LEVE     |
| Edificio de secado de fangos (1). Secado de fangos                        | 21,50           | MUY LEVE     |
| Silo de fangos. Recinto                                                   | 41,25           | LEVE         |
| Edificio de secado de fangos (2)                                          | 36,60           | LEVE         |

*Ejemplo de valoración del estado de una serie de elementos estructurales*

### 3.2.8 Conclusiones y recomendaciones

Finalmente, se aportará un informe de conclusiones en el que se detallará de forma clara el estado de cada una de las estructuras y se incluirá un apartado con las recomendaciones en el caso de que el estado no sea del todo satisfactorio para el uso a que estará sometida cada estructura durante el Servicio, con el planteamiento de posibles reparaciones o refuerzos, las cuales serán analizadas y, en todo momento, consensuadas con los técnicos responsables del Servicio.