

Estudio Comparativo de Métodos de Evaluación de Seguridad Estructural. Aplicación a Caso Práctico.



Autora:

Andrea Seara Rodríguez

Tutor:

Javier Benlloch Marco

*Máster en Edificación.
Especialidad Tecnología.*

Curso 2014-2015

*Escuela Técnica Superior de
Ingeniería de Edificación.*

Universidad Politécnica de Valencia.



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
INGENIERÍA DE
EDIFICACIÓN



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ESTUDIO COMPARATIVO DE MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL. APLICACIÓN A CASO PRÁCTICO.

Contenido

1.	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	3
1.1.	INTRODUCCIÓN	3
1.2.	OBJETIVOS.	4
1.3.	CONTENIDO.	4
2.	ANTECEDENTES Y CARACTERÍSTICAS GENERALES.....	5
3.	GUÍAS O MÉTODOS DE EVALUACIÓN	6
3.1.	INSPECCIÓN TÉCNICA, DIAGNOSIS Y REPARACIÓN DE FORJADOS DE HORMIGÓN ARMADO.	6
3.2.	MANUAL DE DIAGNOSIS E INTERVENCIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO.....	9
3.3.	MANUAL DE EVALUACIÓN DE ESTRUCTURAS AFECTADAS POR CORROSIÓN DE LA ARMADURA, PROYECTO CONTECVET.	16
3.4.	GUÍAS DE LA CALIDAD. GUÍAS PARA LA INSPECCIÓN Y EVALUACIÓN PRELIMINAR Y COMPLEMENTARIA Y GUÍA DE INTERVENCIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN EN EDIFICIOS EXISTENTES.	23
4.	APLICACIONES AL CASO.....	33
4.1.	TOMA DE DATOS DEL CASO.....	33
4.2.	APLICACIÓN AL CASO. MANUAL COAG.	36
4.3.	APLICACIÓN AL CASO. MANUAL COAB.....	39
4.4.	APLICACIÓN AL CASO. MANUAL CONTECVET.	42
4.5.	APLICACIÓN AL CASO. GUÍAS IVE.	45
5.	COMPARATIVA ENTRE MÉTODOS.	50
5.1.	COMPARATIVA DE PROCEDIMIENTOS.....	50
5.2.	COMPARATIVA DE RESULTADOS.	54
6.	ELECCIÓN DEL MÉTODO MÁS ADECUADO	56
7.	CONCLUSIONES GENERALES.....	57
8.	BIBLIOGRAFÍA	58

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.

1.1. INTRODUCCIÓN

En un principio se pretendía analizar los distintos métodos de evaluación estructural según los distintos documentos reconocidos o normativas oficiales que supuestamente tendría cada Comunidad Autónoma o región y decidir cuál de los métodos era más efectivo, recomendable o completo.

Ha resultado más complejo de lo previsible encontrar información adecuada para este campo, ya que, existen multitud de textos, guías y manuales acerca de la inspección y diagnóstico de los elementos estructurales, pero sin embargo, la mayoría de ellos se basan en establecer unas fases de inspección y recomendar realizar una serie de pruebas y ensayos para, posteriormente, explicar o dar a conocer los posibles tipos de actuación en el caso de que la estructura esté dañada y cuáles son los métodos correctos de ejecución de los mismos.

En ninguno de ellos se establecen unos criterios o pautas probabilistas para determinar el grado de daño de los elementos ni qué se debe hacer según este, sino que, consideran que tal determinación debe quedar en manos de la valoración que tome el técnico competente, en base a su conocimiento y posible experiencia previa.

Se ha observado también, ya que muchos de los textos consultados han sido redactados hace al menos una década, que no se ha avanzado significativamente en este campo, ya que los métodos existentes que se explicarán a continuación se parecen demasiado a sus predecesores, que, además referencian métodos aún más antiguos. Bien es cierto que puede ser que no haya muchas más posibilidades de categorizar el tipo de actuación en estos elementos estructurales, pero sin duda podría haber, al menos, más documentos reconocidos o guías metodológicas que trataran de concretar, enfocar y, a fin de cuentas, ampliar el conocimiento en este campo, ya que resulta un parámetro importante para nuestra profesión, pues se trata de evaluar y asegurar la fiabilidad de los elementos que nosotros mismos, los que nos dedicamos a esto, disponemos con anterioridad y es necesario, en mi opinión, contar con un apoyo que pueda orientarnos a la hora de diagnosticar el estado de una estructura, sobretodo en el caso de que el daño no sea evidentemente visible, y una posible actuación posterior que respalde una decisión tomada simplemente por nuestro ojo crítico y que sea más objetiva, ya que, puede ser probable que erremos en nuestra valoración o que exista otra solución posible que no nos habíamos planteado.

Tras diversas búsquedas e investigaciones y comunicarse con los colegios de las distintas comunidades y otros organismos de la construcción se concluyó que el único Documento Reconocido existente en el Estado para el tema que nos ocupa son las Guías de la Calidad del Instituto Valenciano de Edificación. Sin embargo, existen proyectos de investigación y guías elaboradas por Institutos de la Construcción o Colegios Oficiales que plantean una metodología a seguir. En el resto de comunidades se limitan a Guías de Inspección Técnica de Edificaciones, o, más recientemente a los Informes de Evaluación de Edificios en general para todos los elementos del edificio, no concretamente para la estructura, incluyendo instalaciones y otro aspectos como el nivel de aislamiento acústico y térmico, quedándose solamente en la descripción de la obtención de datos y realización de pruebas y ensayos y la redacción de un informe tipo, dejando, nuevamente, el tipo de intervención a juicio del técnico competente que se encargue del estudio, como es el caso de Castilla y León, País Vasco o la Comunidad de Madrid.

1.2. OBJETIVOS.

El objetivo del presente trabajo o proyecto es el de conocer y examinar estos distintos métodos de evaluación estructural incluyendo sus esquemas de actuación, los elementos que evalúan y los datos que se tienen en cuenta y la valoración que se ofrece en función de los resultados obtenidos o de los parámetros estudiados, para, una vez examinados todos ellos, comparar unos con otros y dilucidar cuál de ellos resulta más conveniente de aplicar o si se pueden complementar unos a otros dando unos resultados aún más precisos y completos.

Como parte misma del estudio todos los métodos se aplicarán a un único caso práctico que nos permitirá comparar los procesos metodológicos y los resultados que se obtienen y el grado de determinación y/o fiabilidad que representan.

1.3. CONTENIDO.

Los documentos que van a ser analizados en este estudio son los siguientes:

- Guías de la Calidad, redactadas por el Instituto Valenciano de la Edificación, que son las siguientes:
 - Guía para la Inspección y Evaluación Preliminar de Estructuras de Hormigón en Edificios Existentes.
 - Guía para la Inspección y Evaluación Complementaria de Estructuras de Hormigón en Edificios Existentes
 - Guía de Intervención en Estructuras de Hormigón en Edificios Existentes

El conjunto de ellas forma el proceso completo de evaluación.

- Manual de Evaluación de Estructuras Afectadas por Corrosión de la Armadura, Proyecto CONTECVET, desarrollado por el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja.
- Inspección Técnica, Diagnóstico y Reparación en Forjados de Hormigón Armado, de Jorge Aragón, publicado por el Colegio Oficial de Arquitectos de Galicia.
- Manual de Diagnóstico e Intervención en Estructuras de Hormigón Armado, publicado por el Col·legid' Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona.

Así, para ser fieles al planteamiento inicial, podría considerarse vagamente una comparación de métodos de la Comunidad Valenciana, Comunidad de Madrid, Galicia y Cataluña.

Para facilitar la designación de unos y otros métodos, se referenciarán de la siguiente manera:

- Las Guías de la Calidad como: Guías IVE
- El Manual del Instituto Torroja como: Manual CONTECVET
- El libro de Inspección Técnica de Jorge Aragón como: Manual COAG.
- Y el manual de diagnóstico como: Manual COAB.

El método más actual de todos ellos es el que proporcionan las Guías IVE, publicado en el año 2.008.

No existen, o al menos no se han encontrado, referencias de métodos probabilistas posteriores a este y se sostiene este fundamento en que actualmente se siguen y consultan los presentes documentos en los distintos organismos, en las tesis o estudios en este campo posteriores a esta fecha no aparecen registros más actuales e, incluso, en las guías docentes de asignaturas o cursos referentes a este tema se incluyen en las biografías, no encontrándose documentos más recientes.

2. ANTECEDENTES Y CARACTERÍSTICAS GENERALES.

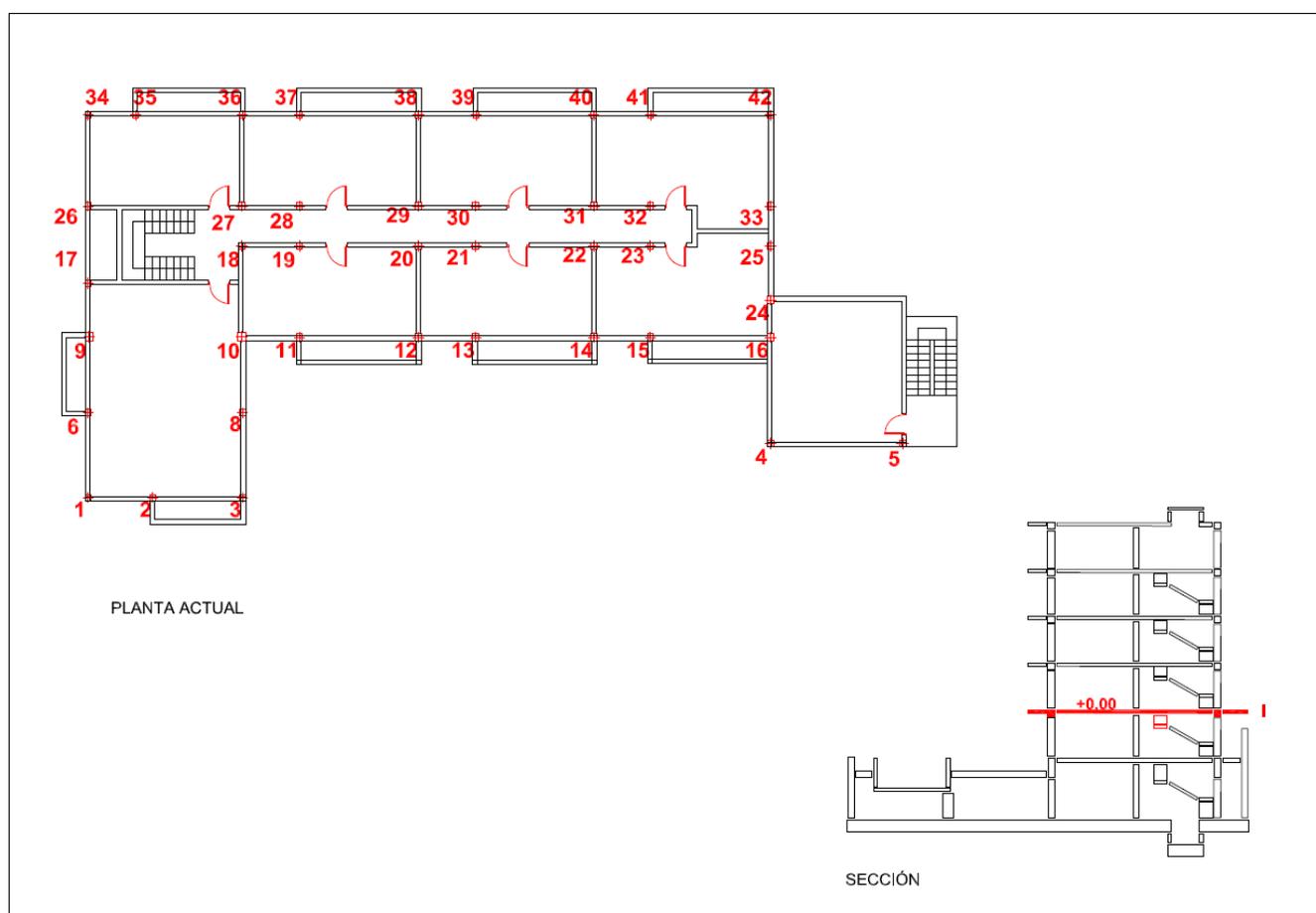
La inspección o método de evaluación estructural no tiene sentido si no hay un elemento que estudiar, por ello, es conveniente orientar el proceso a un caso concreto desde el principio.

En este caso el objeto de estudio es un edificio de 6 plantas llamado "Apartamentos Alonis" ubicado en la C/La Cala, 2, de Benidorm (Alicante).

Este es un caso real de inspección y evaluación por lo que se han realizado sobre él las pruebas y ensayos pertinentes y se ha llevado a cabo la intervención que se ha considerado adecuada, así también podremos comprobar si la actuación real coincide o no con las que nos proponen las guías según los resultados que obtengamos.

Se trata de un edificio de 6 alturas. Para el estudio nos centraremos en una de las plantas, en concreto la de cota +0.00 m y se valorarán solamente los elementos horizontales sometidos principalmente a flexión (forjados y vigas) ya que algunas de las guías se centran únicamente en estos elementos estructurales.

Los planos generales del edificio y de la planta que se va a inspeccionar son los siguientes:



3. GUÍAS O MÉTODOS DE EVALUACIÓN

3.1. INSPECCIÓN TÉCNICA, DIAGNOSIS Y REPARACIÓN DE FORJADOS DE HORMIGÓN ARMADO. (JORGE ARAGÓN, COLEGIO OFICIAL DE ARQUITECTOS DE GALICIA).

De este manual analizaremos los apartados:

- ❖ Metodología en la Inspección Técnica de Forjados.
- ❖ Evaluación Estructural del Elemento.

El resto de la guía no explica una metodología si no que se centra en aspectos más teóricos como los tipos de causas de la patología o los procedimientos de ejecución de los distintos tipos de intervención que se pueden llevar a cabo.

Primero establece las fases del proceso y posteriormente, en el segundo apartado, especifica el método a seguir para la evaluación.

❖ METODOLOGÍA EN LA INSPECCIÓN TÉCNICA DE FORJADOS.

Establece cuatro fases o etapas del proceso: Inspección Visual, Reconocimiento Previo o Ensayos, Análisis de la Patología y Calificación de la gravedad.

I. INSPECCIÓN VISUAL

En ella debemos realizar las siguientes acciones:

- Conocer la estructura: espesores, tipo de forjado y materiales que intervienen y ubicación de las cargas permanentes y puntuales.
- Cronología y evolución de los daños, cambios de uso o modificaciones de cargas.
- Realizar mapas locales de fisuras (dividir en zonas) para establecer tipos de lesiones.
- Determinar deficiencias visibles (eflorescencia, carbonatación, corrosiones...)
- Establecer un plan de control para la colocación de testigos cuando se considere necesario.

Para ello se utilizarán los siguientes métodos y útiles:

OBJETIVO	PROCEDIMIENTO
Conocer la estructura y realizar mapas locales	Apreciación visual
Detección de aluminosis	Solución de fenolftaleína y muestra hormigón
Medición de fisuras	Plantilla espesor de fisuras
Detectar deformaciones y pendientes	Canica de cristal
Grado de oxidación	Lima de hierro y calibrador
Vibración del forjado	Salto en el centro del paño
Planeidad de fachada	Plomada
Estado del hormigón	Golpe con martillo
Detectar microfisuras	Brocha humedecida

Considera que según los datos recabados se puede suponer o no una intervención a corto plazo (inmediata), aunque generalmente deberá apoyarse en la fase siguiente para poder determinarse.

II. RECONOCIMIENTO PREVIO: ENSAYOS

Mediante ensayos de laboratorio se debe conocer: valores de tracción, alargamiento, rotura, límite elástico, ductilidad, adherencia, resistencia característica del hormigón, permeabilidad, dosificación y contenido de cloruros y sulfatos.

Considera cinco tipos de pruebas:

- Probetas Testigo: Para conocer la resistencia del hormigón, módulo de elasticidad y obtener diagrama tensión-deformación.

- Prueba de carga: Para estimar incremento de cargas o analizar resistencia residual.
- Estudio esclerométrico: También para estimar la resistencia del hormigón.
- Pachómetro: Para conocer la localización y características de la armadura.
- Ultrasonidos: Determina módulo de elasticidad, estado del hormigón y presencia de coqueas y fisuras.

III. ANÁLISIS DE LA PATOLOGÍA: RELACIÓN CAUSA – EFECTO.

Tres pasos:

- Detectar la sintomatología (proyecto, cálculo, ejecución o uso)
- Establecer un análisis depurado
- Deducir un diagnóstico de la causa.

Una vez realizados estos pasos se debe hacer una primera clasificación en función de la causa.

IV. CALIFICACIÓN DE LA GRAVEDAD.

Con las conclusiones obtenidas en la inspección se establece la gravedad de lesión, y el valor de seguridad que para cada nivel se suele tener así como el tiempo de actuación que se requiere.

GRAVEDAD DE LESIÓN	COEFICIENTE DE SEGURIDAD	TIEMPO DE ACTUACIÓN
Leves	$\gamma > 1,50$	Control Trianual
Medios	$1,30 < \gamma < 1,50$	Control Anual
Graves	$1,20 < \gamma < 1,30$	Intervención en 6 meses
Muy Graves	$\gamma < 1,20$	Intervención inmediata

❖ EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL ELEMENTO.

Aunque ya se ha especificado qué valores de calificación se pueden obtener y la gravedad de lesión y el tiempo de actuación en función de estos valores, se concretan ahora los parámetros que debemos conocer para realizar los cálculos y en base a qué se determina este coeficiente de seguridad.

En este caso, en función del coeficiente lo que determina es el tipo de intervención que se debe realizar.

Se debe conocer:

- Límite elástico del acero (f_y)
- Capacidad resistente real del hormigón (valor obtenido de probetas testigo)
- Cargas nominales consideradas en el cálculo original
- Cargas reales
- Posibilidad de redistribución de esfuerzos
- Rigidez del elemento ante los esfuerzos

En primer lugar se comprueba que: el esfuerzo de cálculo (M_d , V_d) deberá ser menor que el de agotamiento o último (M_u , V_u).

Si no lo es no será necesaria mayor comprobación, pues se requiere la **actuación inmediata**.

La relación entre la resistencia residual de la estructura afectada y la nominal del proyecto nos va a dar una idea del coeficiente de seguridad actual.

Es decir, que este coeficiente de seguridad global será: $\gamma = \frac{M_u}{M_k}; \frac{V_u}{V_k}$

Este valor M_k o V_k , como se verá también más adelante, en las aplicaciones al caso práctico, es el momento o esfuerzo característico, parámetro que resulta de obviar los coeficientes de mayoración que se aplican a las cargas de los esfuerzos de cálculo obtenidos en el proyecto.

En función de este coeficiente, como ya se especificó en el punto 1. IV., las acciones que se recomiendan son las siguientes:

COEF. DE SEGURIDAD	INTERVENCIÓN
$\gamma < 1,00$	Debe demolerse el forjado
$1,00 < \gamma < 1,20$	Conveniente demoler el forjado
$1,20 < \gamma < 1,30$	Debe reforzarse el forjado
$1,30 < \gamma < 1,50$	Conveniente reforzar el forjado
$\gamma > 1,50$	El forjado es válido

Aunando las dos clasificaciones obtendremos los resultados finales de la gravedad de lesión, el tipo de intervención y el plazo de tiempo en que debe llevarse a cabo:

COEF. DE SEGURIDAD	GRAVEDAD DE LESIÓN	TIEMPO DE ACTUACIÓN	INTERVENCIÓN
$\gamma < 1,00$	Muy Graves	Intervención inmediata	Demolición obligatoria
$1,00 < \gamma < 1,20$	Muy Graves	Intervención inmediata	Posible Demolición
$1,20 < \gamma < 1,30$	Graves	Intervención en 6 meses	Refuerzo obligatorio
$1,30 < \gamma < 1,50$	Medios	Control Anual	Posible Refuerzo
$\gamma > 1,50$	Leves	Control Trianual	Mantenimiento

❖ APLICACIONES POSTERIORES.

Este mismo organismo desarrolló una aplicación informática aparejada a este manual, llamado *Comprobar 2*, que únicamente servía para comprobar el cálculo de estructuras en fase de proyecto, no para intervención, sin embargo actualmente, en su versión más moderna, *Comprobar 4*, si incluye procedimientos de intervención. Para llevar a cabo esta comprobación son necesarios los mismos datos que requiere esta guía, parámetros geométricos y mecánicos, como son las medidas, tipo de armadura y cuantía, resistencia característica del hormigón, límite elástico del acero y recubrimiento. Con estos datos el programa indica el coeficiente de seguridad global y las tensiones y deformaciones sobre la sección indicando si la estructura es válida o no, sin embargo, no se especifica el método o cálculo que se realiza para llegar a estas conclusiones, motivo por el que no se ha tenido en cuenta en este estudio.

3.2. MANUAL DE DIAGNOSIS E INTERVENCIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO. (COL·LEGI D'APARELLADORS I ARQUITECTES TÉCNICS DE BARCELONA).

Para el estudio que nos ocupa, la evaluación estructural, analizaremos en este manual los siguientes apartados:

- ❖ Metodología de diagnosis
- ❖ Herramientas y ensayos para la diagnosis
- ❖ Seguridad estructural. Interpretación y evaluación de resultados.
- ❖ Durabilidad. Interpretación y evaluación de resultados.
- ❖ Criterios para la intervención.

Al igual que en el manual anterior, en primer lugar establece el procedimiento a seguir con sus diferentes etapas y una vez definidas profundiza en cada una de ellas.

❖ METODOLOGÍA DE DIAGNOSIS.

Según este manual el estudio diagnóstico requiere la determinación de dos factores esenciales:

- La **seguridad** en cuanto a la capacidad de carga.
- Las expectativas de **durabilidad** en servicio.

Defiende que, la seguridad de una estructura de hormigón frente a las acciones a las que se encuentra sometida sólo se puede garantizar si se dispone de un margen o coeficiente de seguridad suficiente, y que, la durabilidad únicamente se puede aceptar si se dispone de la protección física y química equilibrada con la vida útil prevista. Establece tres etapas esenciales en el proceso de diagnosis: Prediagnosis, Estudios Previos/ Diagnosis y Diagnóstico.

I. PREDIAGNOSIS.

Se trata de un primer reconocimiento general del estado de los elementos, una inspección visual que nos permitirá realizar una primera valoración intuitiva y detectar todos los defectos aparentes, pudiéndose dar el caso de que se tengan que tomar medidas urgentes de prevención o que se valore la imposible recuperación de la estructura debido a su pésimo estado o, en caso contrario, que la estructura se considere en buen estado, haciendo innecesario continuar con el proceso de diagnosis. También nos orientará a la hora de planificar una campaña de ensayos agrupando los elementos por zonas en función de su posible gravedad de lesiones. Mediante la documentación básica del edificio (planos y croquis) y la inspección visual se identificará el tipo de estructura y su disposición así como su sistema de cargas, las características generales de los materiales y la localización de síntomas y lesiones.

II. ESTUDIOS PREVIOS/ DIAGNOSIS.

Su objetivo es recoger toda la información posible y necesaria para alcanzar un conocimiento profundo de la estructura. En función del objeto de estudio que se requiera y de la futura intervención el estudio será más o menos exhaustivo y se centrará más en unos aspectos u otros. En cualquier caso la diagnosis se divide en cuatro grandes fases:

- Inspección detallada y análisis estructural: Consiste en determinar zonas homogéneas de elementos en cuanto a material, dimensionado y estado de lesiones y establecer para cada una de ellas su campaña de ensayos, conocer las características del hormigón y el acero y las sollicitaciones a las que está sometida la estructura mediante la inspección y toma de datos, pruebas in situ y ensayos no destructivos.
- Toma de muestras y pruebas de laboratorio: Busca conocer la importancia real (antes solo estimada) de los diferentes síntomas y lesiones y los parámetros necesarios para comprobar la capacidad portante y la

durabilidad de los elementos. Esto se conseguirá mediante la extracción de muestras y la realización de pruebas en laboratorio.

- Comprobación de la seguridad: Determinar la seguridad mediante cálculos o deducciones.
- Valoración de durabilidad: Determinar las expectativas mediante la valoración de los procesos de degradación.

Además se deberá recoger información adicional que puede resultar relevante como es la época de construcción, estudios geotécnicos, circunstancias extraordinarias que hayan sucedido o la agresividad ambiental a la que está sometido.

III. DIAGNÓSTICO.

Se define, en este manual, como la relación entre el resultado de los análisis, el estado en que se encuentra la estructura y las medidas a tomar para que esta pueda seguir en servicio.

Consiste en analizar detenidamente la información recogida y establecer unas conclusiones claras.

En este caso el tipo de intervención se deja en manos del técnico pero se marcan las siguientes pautas:

- PARA DAR RESPUESTA A LA CAPACIDAD PORTANTE:

En el proceso de diagnosis, comentado previamente, se deben de haber recogido las características constructivas de las piezas (dimensiones o geometría, cuantía y disposición de la armadura, recubrimiento de la misma y sistema constructivo), las características estructurales (solicitaciones, tipología estructural y modificaciones posteriores), las prestaciones mecánicas (resistencia a compresión del hormigón y límite elástico del acero) y análisis de las lesiones (fisuras, deformaciones, corrosión, desplazamientos, textura y color superficiales) y haber determinado el coeficiente de seguridad según la normativa vigente (en este caso la EHE-08).

En función de este coeficiente se establecen tres posibles resultados:

- Seguridad Aceptable
- Seguridad Limitada
- Seguridad Inaceptable

- PARA DAR RESPUESTA A LA DURABILIDAD:

Nuevamente en el proceso de diagnosis se debe haber recabado información, a parte de las características constructivas y en análisis de las lesiones, sobre la porosidad del hormigón, los agentes agresivos (características del ambiente, profundidad de carbonatación, contenidas de cloruros y contenidas de sulfatos) y la velocidad de corrosión.

En función de estos parámetros se establecen tres posibles resultados:

- Durabilidad correcta
- Durabilidad dudosa
- Durabilidad incorrecta

Tras conocer el grado de seguridad y la valoración de la durabilidad se tendrá que decidir el tipo de actuación a realizar, que son cuatro:

- No intervención (solamente recomendación de uso)
- Reparación
- Refuerzo
- Sustitución.

❖ HERRAMIENTAS Y ENSAYOS PARA LA DIAGNOSIS.

El manual no establece que sea obligatorio, pero sugiere los siguientes útiles y recomienda ejecutar una serie de ensayos recomendables para obtener los parámetros nombrados en el apartado anterior.

- PARA LA PREDIAGNOSIS:

Para ayudar a la inspección visual, a parte de los planos del edificio, son convenientes una serie de herramientas sencillas como linterna, maceta y cincel, rociador de fenolftaleína, bolsas para tomar muestras, cinta métrica, cámara fotográfica, detector de armaduras e higrómetro.

- PARA LA DIAGNOSIS:

Una vez conocidos los parámetros necesarios que intervienen en el proceso de determinación del estado de la estructura se determina qué clase de herramienta o ensayo se debe realizar para conseguir los valores de estos parámetros:

OBJETIVO	MÉTODO O ÚTIL
Para la estructura	
Fisuras	Fisurómetros Cuentahilos Deformómetros Extensímetros eléctricos
Cuantía y disposición de la armadura	Pachómetros
Recubrimiento de la armadura	Detectores de metal
Resistencia del hormigón	Ultrasonidos
Tipología y geometría de los materiales	Esclerómetros Pistola Windsor Probetas testigo o microprobetas Probetas prismáticas
Solicitaciones (flexión)	Pruebas de carga
Para la durabilidad	
Porosidad y densidad	Difracción de rayos X Lupa binocular Microscopía eléctrica
Profundidad de carbonatación	Impregnación solución alcohólica fenolftaleína
Contenido de cloruros	Método Volhard Potenciometría
Velocidad de corrosión	Corrosímetros
Contenido de sulfatos	Ensayo norma EN 196
Naturaleza de la pieza	Difracción rayos X Análisis térmico diferencial Lupa binocular Microscopía de lámina fina

El resto de los parámetros que no figuran pueden obtenerse mediante la apreciación visual o la consulta de tablas (en el caso de la agresividad ambiental).

❖ SEGURIDAD ESTRUCTURAL. INTERPRETACIÓN Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS.

Nos permite obtener el valor de la seguridad de tres formas:

a) COMPROBACIÓN ANALÍTICA:

- Conocidas las características mecánicas y los valores de las acciones recalcular los esfuerzos.

Este método es el mismo que proponía el anterior Manual COAG.

- Método simplificado según la “Guía d’actuacions en sostres existents de formigó armat o precomprimit”:

Esta guía solamente analiza piezas a compresión (forjados) y clasifica las lesiones en: muy graves, graves, leves y síntomas.

Para las muy graves y graves, que se dan cuando en el momento de la inspección la estructura ya está afectada, se establece directamente la intervención.

Para las lesiones leves, que considera que se dan cuando en el momento de la inspección la seguridad de la estructura no se encuentra afectada pero que muestra indicios de que puede estarlo en el futuro, se propone el peritaje.

Y para los síntomas, manifestaciones que no afectan directamente la estructura pero que pueden intervenir en su entorno y crear circunstancias adversas para la pieza, el técnico decidirá si quiere realizar peritaje o un plan de mantenimiento directamente.

El peritaje es, efectivamente, la comprobación de seguridad estructural que tratamos de analizar.

Este peritaje, de base semiempírica, se realiza a través de unos indicadores.

Con las zonas divididas en lotes, se realizan unas campañas de calas, de inspección visual y extracción de microprobetas que determinen las características geométricas y mecánicas del forjado (geometría, armadura, resistencia a compresión y límite elástico). Parámetros que ya incluye el Manual de Diagnóstico por lo que se considera que ambas guías pueden aunarse.

Conocidas estas características, se procede a la obtención de indicadores.

Se diferencian dos tipos, los indicadores geométricos (n_1) y los indicadores mecánicos (n_2).

La importancia de los primeros es inferior a la de los segundos.

El valor N, que decide la periodicidad de las inspecciones del plan de mantenimiento, es la suma de los valores obtenidos de los indicadores geométricos y mecánicos.

- La relación de valores de los indicadores geométricos es la siguiente:

CUESTIÓN	Indicadores geométricos (n_1)
¿Hay información previa de la vigueta?	2
¿Hay capa de compresión?	Si tiene capa de compresión =1 Si no tiene capa y la capa comprimida es más grande que la base de la vigueta =0 Si no tiene capa y la capa comprimida no es más grande que la base de la vigueta= -1
¿El entrevigado es de buena calidad?	0,5
¿El intereje es pequeño?	0,2
¿El material de recubrimiento de senos es correcto?	2
¿La vigueta es continua?	2
¿La carga sobre la pared o dintel es correcta?	0,5

Si no se conoce la respuesta el valor debe ser 0.

- La relación de los valores de los indicadores mecánicos se valora en función de:

La relación canto/luz, la resistencia a compresión del hormigón, y el tipo y sección de la armadura. Mediante la siguiente tabla se obtienen los valores de n_2 .

Indicadores mecánicos (n_2)									
Canto forjado		Resistencia estimada del H (kp/cm ²)			Armado del forjado				
H (cm)	n_2	Tipo de vigueta		n_2	Liso (A)	Corrugado (A)	Alambre (A)	Def. Fy (A*Fy)	n_2
		Armada	Pretensada						
<L _{max} /30	1	<100	<150	1	$\leq 4,55 * 10^{-4} * K$	$\leq 2,38 * 10^{-4} * K$	$\leq 0,83 * 10^{-4} * K$	$\leq K$	0
Intermedio	2	Intermedio		2	$\leq 5,91 * 10^{-4} * K$	$\leq 3,09 * 10^{-4} * K$	$\leq 1,08 * 10^{-4} * K$	$\leq 1,30 * K$	1
> L _{max} /20	3	>150	>200	3	$\leq 6,82 * 10^{-4} * K$	$\leq 3,57 * 10^{-4} * K$	$\leq 1,25 * 10^{-4} * K$	$\leq 1,50 * K$	2
					$\leq 7,50 * 10^{-4} * K$	$\leq 3,93 * 10^{-4} * K$	$\leq 1,37 * 10^{-4} * K$	$\leq 1,65 * K$	3
					Intermedio				4
					$\geq 8,25 * 10^{-4} * K$	$\geq 4,32 * 10^{-4} * K$	$\geq 1,51 * 10^{-4} * K$	$\geq 1,81 * K$	6

Sumando directamente los valores de los dos indicadores obtendremos un valor total que se denomina N:

$$N = n_1 + n_2$$

En función de este valor se determinará el tipo y tiempo de actuación:

Valor de N	INTERVENCIÓN Y TIEMPO DE ACTUACIÓN
<5	Se ha de intervenir el forjado.
5-9	Inspección en plazo inferior a 2 años.
9-14	Inspección en plazo inferior a 5 años.
>14	Inspección en plazo inferior a 10 años.

Para el caso de la intervención la guía establece que, para las lesiones muy graves se realizará sustitución. Para las graves sustitución o refuerzo. Y para las leves, en el caso de que el técnico decida intervenir se llevarán a cabo unas medidas correctoras, consistentes en evitar el deterioro previniendo de la humedad y restaurando los acabados o capas superficiales del forjado.

- Comprobación experimental: Realizando pruebas de carga. Prueba más fiable pero que sin embargo no es representativa para todos los elementos de la zona y puede suponer un agravante para el estado de la estructura.
- Comprobación empírica: Guiándose por el sentido común, aplicando el principio de que, si una estructura no ha presentado lesiones a los 10 años de su vida útil y no varían las sollicitaciones sobre la misma no necesita ser evaluada.

Una vez comprobada la estructura y analizado los resultados, la guía propone tres tipos de intervención en función del tiempo: Inmediatas, Urgentes y Programables.

Si hemos tomado la vía de la comprobación analítica ya conocemos la respuesta. Si no, en este apartado se establece que, para lesiones graves o muy graves la intervención será inmediata y de carácter provisional hasta que se realice una más completa y que consistirá en apeos y apuntalamientos.

Las intervenciones de tipo urgente se realizarán en un plazo de 6 meses, si la lesión es grave y se pretende la sustitución o el refuerzo.

Las lesiones programables serán de plazo de ejecución más extenso, para lesiones importantes o leves, y consistirá en realizar reparaciones puntuales.

❖ DURABILIDAD. INTERPRETACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS.

El principio básico es clasificar la durabilidad de la estructura en función del grado de agresividad del ambiente. Hay ambientes agresivos al hormigón y ambientes agresivos a la armadura.

La clasificación de agresividad ambiental según la guía es la siguiente:

Clases de Agresividad del ambiente en función de las condiciones de exposición				
Macro-clima	Micro-clima			
	Interior edificaciones		Exterior edificaciones	
	Seco	Húmedo o ciclos	Seco	Húmedo o ciclos
Rural	I	I	I	II
Urbano	I	II	I	II
Marino	II	III	-	III
Industrial	II	III	II	III
Específico	II	III o IV	III	IV
Salpicaduras de mar	-	-	-	IV
Sumergida $\geq 3m$	-	-	-	I
Suelo	-	-	I	II,III,o IV

Y en función de esa clasificación se obtiene el nivel de agresividad y el posible riesgo de deterioro para la estructura:

Agresividad Ambiental		
CLASE DE AGRESIVIDAD	AGRESIVIDAD	RIESGO DE DETERIORO DE LA ESTRUCTURA
I	Débil	Insignificante
II	Media	Pequeño
III	Fuerte	Grande
IV	Muy Fuerte	Elevado

La guía propone varios métodos de evaluación de la durabilidad: Empíricos, con base a Ensayos Acelerados, Deterministas y Probabilísticos.

Teniendo en cuenta nuestras posibilidades en este estudio vamos a determinar como método a seguir el proceso determinista, que se basa en:

Conocer el grado de corrosión mediante la velocidad de ataque de los agentes agresivos. De este modo los parámetros que necesitamos conocer son:

- Edad de la estructura (t)
- Calidad del hormigón (resistencia característica)
- Espesor de recubrimiento (c)
- Profundidad de carbonatación (K)

Con estos parámetros se establece la extensión recorrida por el agente mediante la expresión:

$$c' = K * t^{1/2}$$

Para determinar que la estructura está sana se debe comprobar que: $c > c'$

❖ CRITERIOS PARA LA INTERVENCIÓN.

Concluye el proceso resumiendo las posibles formas de intervención que pueden realizarse, teniendo en cuenta no solo la capacidad portante si no también la durabilidad de la pieza.

Establece en este caso, cuatro grupos:

- Actuaciones de urgencia (apuntalamiento y desalojo) :
Se pueden detectar y ordenar durante la diagnosis si se observa que la estructura se encuentra en un estado límite.
- Comportamiento actual aceptable (Prevención y protección y seguimiento de servicio):
No realizar ninguna intervención sino proponer un control periódico.
- Reparación y refuerzo (Reconstrucción de la geometría, reparaciones puntuales y refuerzo)
- Sustitución: Puede ser física o funcional.

Únicamente indica cuales son las acciones que se suelen llevar a cabo en cada caso pero no especifica cuando o por qué debe elegirse una u otra

3.3. MANUAL DE EVALUACIÓN DE ESTRUCTURAS AFECTADAS POR CORROSIÓN DE LA ARMADURA, PROYECTO CONTECVET. (Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja).

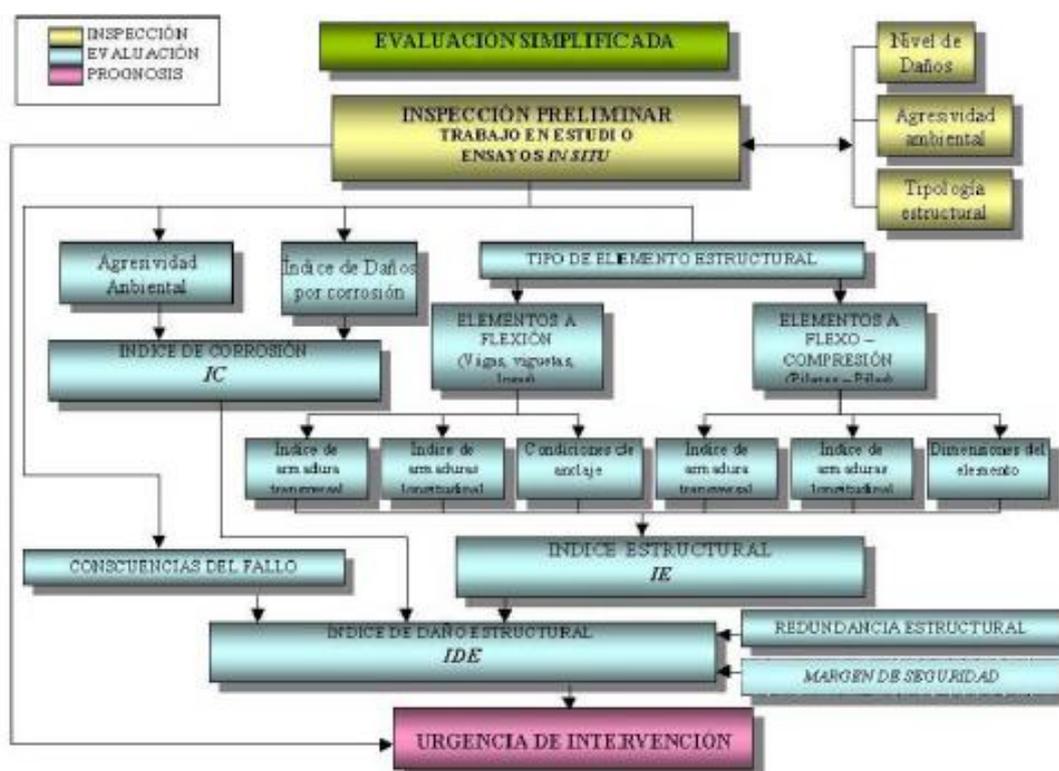
Este Manual contempla dos tipos de evaluación: Método Simplificado y Método Detallado.

En principio analizaremos solo el Método Simplificado, ya que el Método Detallado requiere de muchos más datos, ensayos y cálculos y tampoco especifica mucho más el tipo de intervención a llevar a cabo, ya que, en la opción simplificada nos especifica el tiempo de intervención y la posibilidad de una reparación urgente y en la detallada especifica lo mismo con la única diferencia de que los resultados son más precisos aunque también más laboriosos de conseguir.

En el manual se especifica que el procedimiento sirve para analizar únicamente estructuras afectadas por corrosión, aunque, como veremos luego, también tiene en cuenta la capacidad residual de la estructura.

Este método establece tres fases de la inspección: Inspección, Evaluación y Prognosis.

El esquema general del procedimiento es el siguiente, que se explicará detalladamente a continuación:



I. INSPECCIÓN

Fase inicial con el objetivo de establecer la causa del deterioro y recabar los datos necesarios para realizar la evaluación.

No considera que en esta fase se pueda determinar ningún tipo de actuación.

No obliga al cumplimiento de una metodología concreta si no que acepta cualquier proceso que se utilice en otros manuales siempre y cuando proporcione los datos que se necesitan saber.

Sin embargo, por si no se va a seguir ningún otro método, considera tres etapas esenciales que se deben desarrollar:

- Inspección Preliminar o Visual: Se debe determinar si la corrosión se está produciendo en ese momento y que daños ha producido.

Esto se determina en base a tres aspectos, que son:

- Tipología Estructural: Elementos resistentes (tipo y definición geométrica) y su funcionamiento.
- Agresividad Ambiental: Según clases de exposición EHE, EN206 o la suya simplificada.

Clases generales de exposición relativas a la corrosión de armaduras según EHE

CLASE GENERAL DE EXPOSICIÓN					
Clase	Subclase	Designación	Tipo de Proceso	DESCRIPCIÓN	EJEMPLOS
No Agresiva		I	Ninguno	-Interiores de edificios, no sometidos a condensaciones. -Elementos de hormigón en masa	-Interiores de edificios, protegidos de la intemperie.
	Humedad Alta	IIa	Corrosión de origen diferente a los cloruros	-Interiores sometidos a humedades relativas medias altas (>65%) o a condensaciones. -Exteriores en ausencia de cloruros, y expuestos a lluvia en zonas con precipitación media anual superior a 600mm. -Elementos enterrados o sumergidos	-Sótanos no ventilados -Cimentaciones -Tableros y pilas de puentes en zonas con precipitación media anual superior a 600mm -Elementos de hormigón en cubiertas de edificios.
	Humedad Baja	IIb	Corrosión de origen diferente a los cloruros	-Exteriores en ausencia de cloruros, sometidos a la acción del agua de lluvia, en zonas con precipitación media anual inferior a 600mm.	-Construcciones exteriores protegidas de la lluvia -Tableros y pilas de puentes, en zonas de precipitación media anual inferior a 600mm. -Edificaciones en las proximidades de la costa.
Normal	Aérea	IIIa	Corrosión por cloruros	-Elementos de estructuras marinas, por encima del nivel de pleamar. -Elementos exteriores de estructuras situadas en las proximidades de la línea costera (a menos de 5 km)	-Puentes en las proximidades de la costa. -Zonas aéreas de diques, pantanales y otras de defensa litoral. -Instalaciones portuarias.
	Sumergida	IIIb	Corrosión por cloruros	-Elementos de estructuras marinas sumergidas permanentemente	-Zonas sumergidas de diques, pantanales y otras obras de defensa litoral -Cimentaciones y zonas sumergidas de pilas de puentes en el mar.
	En zonas de mareas	IIIc	Corrosión por cloruros	-Elementos de estructuras marinas situadas en la zona de carrera de mareas	-Zonas situadas en el recorrido de marea de diques pantanales y otras obras de defensa litoral -Zonas de pilas de puentes sobre el mar, situados en el recorrido de marea.
Con cloruros de origen diferente del medio marino		IV	Corrosión por cloruros	-Instalaciones no impermeabilizadas en contacto con agua que presente un contenido elevado de cloruros, no relacionados con el ambiente marino. -Superficies expuestas a sales de deshielo no impermeabilizadas.	-Piscinas -Pilas de pasos superiores o pasarelas en zonas de nieve -Estaciones de tratamiento de agua.

CLASES DE EXPOSICIÓN SEGÚN LA UNE-EN 206

Designación	Descripción del ambiente	Ejemplos
Sin riesgo de corrosión		
X0	Para hormigón en masa: todos los ambientes excepto donde hay acciones de deshielo, abrasión o ataques químicos.	Hormigón en interiores de edificio con niveles de humedad muy bajos
Corrosión inducida por carbonatación		
Cuando el hormigón armado está expuesto a ambientes húmedos, la exposición debe ser clasificada de la siguiente forma:		
XC1	Seco o permanentemente húmedo	Hormigón armado en el interior de edificios con humedad relativa baja. Hormigón permanentemente sumergido.
XC2	Húmedo, raramente seco	Superficies de hormigón sometidas a contacto con el agua durante largos periodos. Cimentaciones.
XC3	Humedad moderada	Hormigón armado en el interior de edificios con humedad relativa moderada. Hormigón en exteriores protegidos de la lluvia.
XC4	Ciclos húmedos y secos	Superficies de hormigón en contacto con el agua, no incluidas en las clase XC2
Corrosión inducida por cloruros de origen distinto del marino.		

XD1	Moderadamente húmedo	Superficie de hormigón expuestas a los cloruros contenidos en el aire
XD2	Húmedo raramente seco	Piscinas Hormigón expuesto a la acción de aguas industriales que contienen cloruros
XD3	Ciclos húmedos y secos	Partes de puentes expuestos a salpicaduras que contienen cloruros
Corrosión inducida por cloruros de origen marino		
XS1	Exposición a la acción de la sal contenida en el aire pero no en contacto con el agua de mar	Estructuras cerca del mar o en la costa
XS2	Permanentemente sumergidas	Parte de estructuras marítimas
XS3	Zonas expuestas a la acción de la marea o salpicaduras	Parte de estructuras marítimas

CLASIFICACIÓN SIMPLIFICADA CONTECVET		
CLASE DE EXPOSICIÓN	PRESENCIA DE CLORUROS	DENOMINACIÓN
Interiores secos		I
Protegidos de la lluvia	NO	II-A
	SI	II-B
Expuestos a la lluvia	NO	III-A
	SI	III-B
Sumergida o enterrada	NO	IV-A
	SI	IV-B
Elevadas cantidades de cloruros	SI	V

- **Nivel de daño:**
Diferenciar el origen de los daños y el nivel. En cuanto al origen pueden ser tres tipos: debidos al funcionamiento estructural (fisuras verticales o inclinadas), al efecto de la corrosión o a las reacciones del hormigón con agentes agresivos.
Si son por corrosión a la vez se pueden dividir en: manchas, fisuras (paralelas a la estructura) o spalling (pérdida de recubrimiento).
- Trabajo de oficina: Correlativo a lo observado en la inspección, se divide en:
 - Recolección de datos previos: Edad de la estructura, tipología y disposición de elementos, transmisión de cargas, reparaciones realizadas, inspecciones previas realizadas y pruebas de carga y sus resultados.
 - Clasificación agresividad ambiental por lotes
 - Clasificación de daños: Mapa de daños agrupando lotes en función de los 6 indicadores de daños por corrosión (IDC) que se especifican en el apartado siguiente.
 - Agrupación en lotes: En función de los tres parámetros anteriores. En cada lote se realizarán las medidas y ensayos necesarios para determinar el índice de daño estructural, representativo para todo el lote.
- Ensayos in situ:
 - Geometría del elemento. Dimensiones, recubrimiento, diámetro y armadura.
 - Resistencia del material. Probetas testigo.
 - Detalle del armado. Pachómetros.
 - Profundidad de penetración de los agresivos. Ensayo de fenolftaleína.
 - Medidas de corrosión. Velocidad de corrosión.

II. EVALUACIÓN DE LA ESTRUCTURA O DIAGNOSIS.

Consiste en una calificación del estado actual. Utiliza un método semi-empírico y su objetivo es identificar la agresividad ambiental y el nivel de daños en el momento de la inspección.

La evaluación consiste en obtener un valor del llamado Índice de Daño Estructural (IDE).

Este indicador se determina, a su vez, mediante otros dos índices: Índice de Corrosión (IC) e Índice Estructural (IE).

- **ÍNDICE DE CORROSIÓN (IC):**
Representa los daños actuales y la velocidad de deterioro.
Establece cuatro niveles de corrosión en función de otros dos parámetros (AA e IDC).
 - Agresividad Ambiental (AA): Adjudica puntos del 1 al 4 a las clases de exposición.

Clase	X0 / I	XC1	XC2 /IIa	XC3/ IIb	XC4	XD1	XD2/ IV	XD3	XS1/ IIIa	XS2 /IIIb	XS3 /IIIc
AA	0	1	1	2	3	2	3	4	2	3	4

- **Indicadores de Daño por Corrosión (IDC):**

Indicador	Nivel I	Nivel II	Nivel III	Nivel IV
Profundidad de carbonatación (X_{CO_2})	$X_{CO_2} = 0$	$X_{CO_2} < c$	$X_{CO_2} = c$	$X_{CO_2} > c$
Nivel de cloruros (X_{Cl})	$X_{Cl} = 0$	$X_{Cl} < c$	$X_{Cl} = c$	$X_{Cl} > c$
Fisuración por corrosión en el recubrimiento (w)	Sin fisuras	Fisuras $< 0.3\text{mm}$	Fisuras $> 0.3\text{mm}$	Fisuración generalizada y estallidos
Resistividad (ρ)	> 1.000	$500 - 1.000$	$100-500$	< 100
Pérdida de sección (Φ)	$< 1\%$	$1-5\%$	$5-10\%$	$> 10\%$
Intensidad de corrosión (I_{corr})	< 0.1	$0.1-0.5$	$0.5-1$	> 1

Estos indicadores se deben haber determinado en la fase de inspección. El valor de este parámetro IDC será la media aritmética de la suma de los niveles de todos los indicadores:

$$IDC = \frac{\sum_{i=1}^6 \text{Nivel indicador}_i}{6}$$

Una vez obtenidos AA e IDC, se obtiene IC, que es, también la media aritmética de estos dos valores:

$$IC = \frac{AA + IDC}{2}$$

Finalmente, según el valor de IC, que toma valores de 0 a 4, se determina el nivel de corrosión del elemento:

Valor de IC	0-1	1-2	2-3	3-4
Nivel de corrosión	N (Sin corrosión)	B (Baja corrosión)	M (Corrosión Moderada)	A (Corrosión Alta)

- **ÍNDICE ESTRUCTURAL (IE):**
Indica la sensibilidad del elemento estructural a la corrosión de las armaduras.
Una vez valorada la agresividad ambiental que se pedía en la inspección se procede a valorar el nivel de daño.
Dependiendo del tipo de elemento estructural se tienen en cuenta unos u otros parámetros. Así, se estudiarán por un lado los elementos sometidos a flexión (vigas, viguetas y losas) y los sometidos a flexo-compresión (pilares).

- Elementos a flexión:
 - Determinación del índice de armado transversal:
Se debe conocer el diámetro de la armadura y la distancia entre estribos.
Con ello se establecen los valores de este índice mediante la siguiente tabla:

Φ_t	Separación de los cercos			Sin cercos
	$S_t \leq 0.5d$	$S_t > 0.5d$ (4ramas)	$S_t > 0.5d$	
$>8\text{mm}$	1	1	2	1
$\leq 8\text{mm}$	2	2	3	

- Determinación del armado longitudinal y el índice estructural:

Este armado se clasifica:

Según el diámetro: Barras de gran diámetro ($\emptyset \geq 20\text{mm}$) o pequeño ($\emptyset < 20\text{mm}$).

Según la cuantía: Baja ($\rho_1 < 1.0\%$) o alta ($\rho_1 > 1.5\%$). Si es alta se debe tener en cuenta la cuantía en compresión ρ_2 , si es $>0.5\%$ se debe considerar la cuantía como baja.

Con los dos armados, longitudinal y transversal hallamos IE:

INDICE DE ARMADO TRANSVERSAL	ARMADURA LONGITUDINAL (mm)			
	$\emptyset \geq 20$		$\emptyset < 20$	
	Alta cuantía	Baja Cuantía	Alta Cuantía	Baja cuantía
1	I	II	II	III
2	II	III	III	IV
3	III	IV	IV	IV

- Elementos a flexo-compresión:

Se tienen en cuenta los mismos parámetros, pero la clasificación es diferente.

Índice de armado transversal			Índice estructural				
Φ_t	$\lambda = \text{espaciado de cercos/ } \emptyset \text{ barras principal}$		INDICE DE ARMADO TRANSVERSAL	$\eta = \text{Índice de estallido (sección reducida/ sección bruta)}$			
	$\lambda \leq 10$	$10 < \lambda$		$\eta \geq 0.75$		$\eta < 0.75$	
				Espaciado		Espaciado	
$>8\text{mm}$	1	2	$>5 \emptyset$	$< 5 \emptyset$	$>5 \emptyset$	$< 5 \emptyset$	
$<8\text{mm}$	2	3	1	I	I	II	III
			2	I	II	III	IV
			3	III	IV	IV	IV

- CONSECUCENCIA DEL FALLO:

Se ha de tener en cuenta también, además de los dos índices anteriores.

Si las consecuencias del fallo no son preocupantes se considerará LEVE.

Si las consecuencias del fallo pueden producir riesgos para la vida o importantes daños materiales se considerará SIGNIFICANTE.

Una vez que se han obtenido los dos índices IC e IE y conocida la consecuencia del fallo, se obtiene el valor de IDE, que, al igual que los dos índices anteriores también establece cuatro niveles.

Estos cuatro niveles indican la gravedad del estado de la estructura indicando la gravedad del daño que ha sufrido, pudiendo ser: Despreciable (D), Medio (M), Severo (S) y Muy Severo (MS).

La clasificación de la estructura en uno de estos cuatro niveles se obtiene mediante esta tabla:

IC	IE							
	I		II		III		IV	
	Consecuencias del posible fallo							
	Leve	Sig	Leve	Sig	Leve	Sig	Leve	Sig
0-1	D	D	D	D	D	M	M	M
1-2	M	M	M	M	M	S	M	S
2-3	M	S	M	S	S	MS	S	MS
3-4	S	MS	S	MS	S	MS	MS	MS

Por último hay otro parámetro que se puede tener en cuenta, aunque es opcional. Es el denominado Margen de Seguridad.

- **MARGEN DE SEGURIDAD:** Puede influir en la reducción de la calificación de IDE de la estructura.

Este Margen de Seguridad es la relación entre los esfuerzos últimos del elemento (M_u o N_u) y los esfuerzos característicos de evaluación (M_k o N_k), mediante la siguiente expresión:

$$MS = \frac{M_u}{M_k}, \frac{N_u}{N_k}$$

En función del valor de esta ecuación se determinará:

Margen de seguridad	BAJO	MEDIO	ALTO
MS	$1,4 < MS < 2,0$	$2,0 < MS < 3,0$	$MS > 3,0$

Por otro lado, si el MS es inferior a 1,4 se debe realizar la evaluación detallada.

La aplicación de la reducción del IDE según el valor del MS será:

IDE	MS BAJO	MS MEDIO	MS ALTO
D	D	D	D
M	M	D	D
S	S	M	D
MS	MS	S	M

Aplicada la reducción o no al Índice de Daño Estructural se obtiene finalmente el nivel de daño en la estructura y por tanto podemos pasar a la última de las etapas del proceso, la Prognosis.

III. PROGNOSIS.

Consiste básicamente en clasificar la urgencia de intervención, en años, que requiere la estructura.

Esta clasificación se basa en el nivel de IDE obtenido en la evaluación. Así, las equivalencias son las siguientes:

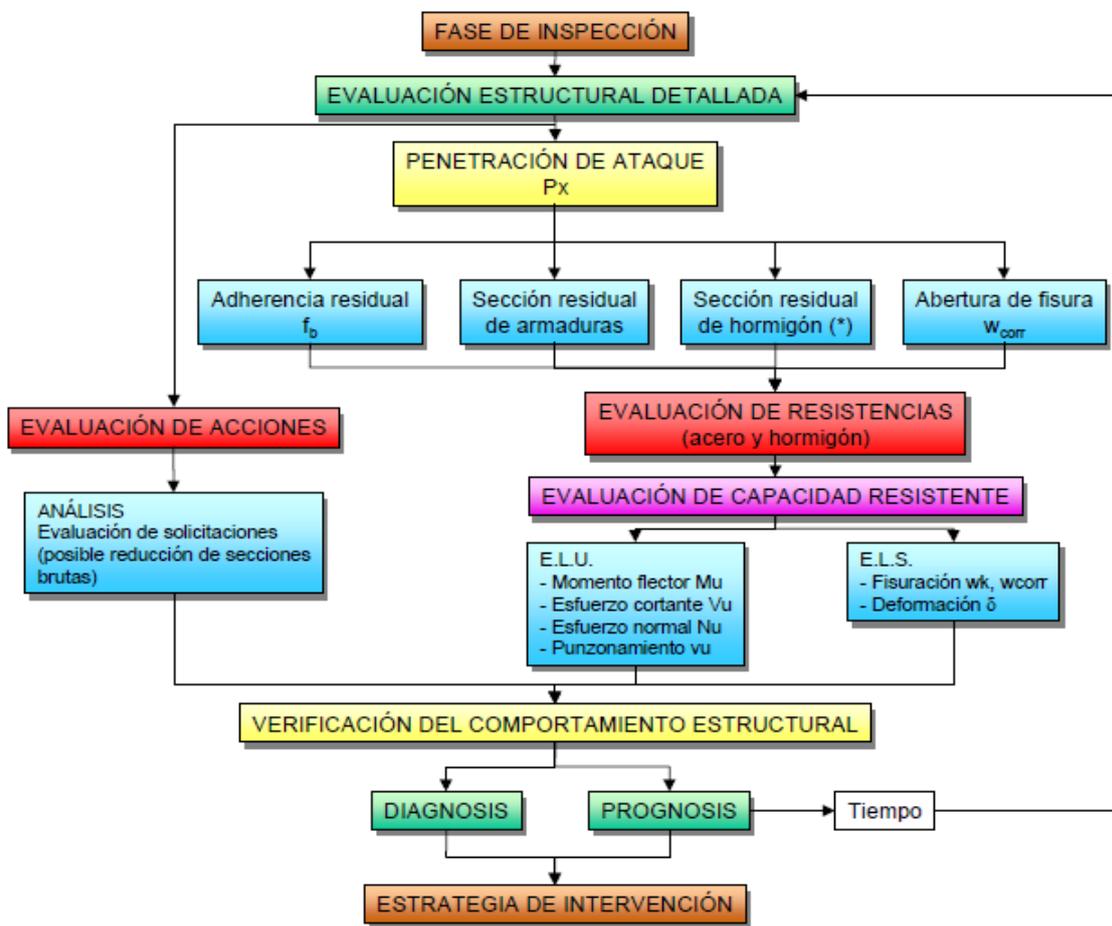
IDE	Urgencia de Intervención	Sugerencia de actuación
Despreciable	>10 años	Inspección superado ese tiempo
Medio	5-10años	Inspección superado ese tiempo
Severo	2-5años	Evaluación Detallada
Muy Severo	0-2años	Reparación Urgente y Recalculo mediante Evaluación Detallada

Con todos estos datos se redacta uno o varios informes que darían por concluido el peritaje de los elementos en cuestión.

Como se ha comentado al principio no se va a entrar a estudiar la Evaluación Detallada de este manual, pero a modo de resumen e introducción a la misma cabe destacar que en ella se establecen cinco fases, en lugar de las tres fases del método simplificado, que son las siguientes:

- I. Fase de inspección.
- II. Determinación de los efectos de la corrosión (deterioro de la adherencia, de la sección de las armaduras, de la geometría de la estructura y de su entorno).
- III. Evaluación de acciones y análisis, considerando reducciones de las secciones brutas.
- IV. Determinación de la capacidad resistente a partir de las propiedades de los materiales modificadas por efecto de la corrosión.
- V. Verificación del comportamiento estructural en el estado actual (diagnóstico) y en el futuro (pronóstico) a partir de la aplicación de la Teoría de los Estados Límite.

Y el esquema del proceso general es el siguiente:



Se predice el avance agresivo y se calcula la capacidad portante, para finalmente determinar las siguientes conclusiones:

$M_D < M_U$	No se necesita actuar hasta que el valor revierta
Si M_D es un 10% $> M_U$	Evaluación en menos de 1 año
Si M_D es más de un 10% $> M_U$	Reparación Urgente
$M_D > M_S$	Decisión con la propiedad

Comprobándose, efectivamente, que aunque los resultados de esta evaluación son más precisos, la concreción del tipo de intervención a realizar es muy similar, pudiéndose considerar, incluso, esta última más confusa.

3.4. GUÍAS DE LA CALIDAD. GUÍAS PARA LA INSPECCIÓN Y EVALUACIÓN PRELIMINAR Y COMPLEMENTARIA Y GUÍA DE INTERVENCIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN EN EDIFICIOS EXISTENTES. (Instituto Valenciano de la Edificación).

En este caso no se trata de una única guía o manual, sino una trilogía de ellas que se complementan y establecen niveles de intensidad de inspección.

❖ GUÍA PARA LA INSPECCIÓN Y EVALUACIÓN PRELIMINAR.

Esta guía cuenta con cinco apartados que detallan cada fase del proceso de intervención.

Estos son: Obtención de Datos Previos, Reconocimiento Visual del Edificio, Realización de Pruebas y Ensayos, Estimación del Índice de Daño y Riesgo por Corrosión y Propuesta de Actuaciones en Zona.

I. OBTENCIÓN DE DATOS PREVIOS.

Establece tres trabajos necesarios en esta primera fase:

- Información del edificio: Verbal, escrita o gráfica.
- Identificación del trabajo: Establecer objetivos, marcar pautas del proceso.
- Descripción del edificio:
 - Escrita: Debe incluir composición del edificio, tipología y disposición de los elementos de la estructura, edad de la estructura y descripción de materiales.
 - Gráfica: Incluir planos esquemáticos del edificio y los elementos y fotografías.

II. RECONOCIMIENTO VISUAL.

Sus objetivos son los siguientes:

- Detectar lesiones (estructurales o no)
- Dividir el edificio u objeto de estudio en unidades de inspección (plantas o fracciones)
- Agrupar las unidades de inspección en zonas homogéneas de riesgo.
Esta clasificación se hace en función de la exposición a la humedad.
 - Con Riesgo (500m²): expuestas a la humedad, exteriores o en contacto con el terreno
 - Sin Riesgo (1.500m²): Zonas protegidas de la humedad.
- Calificación de daño en cada zona establecida. La tabla que determina esta calificación se encuentra en el apartado II de la Guía de Inspección Complementaria que se desarrolla más adelante. Para este reconocimiento visual preliminar solo se tendrán en cuenta los daños referidos a las vigas o viguetas, ya que es el elemento que se estudia en este guía.

La clasificación determina cuatro niveles de daño: Despreciable, Bajo, Moderado y Alto.

III. REALIZACIÓN DE PRUEBAS Y ENSAYOS.

Esta guía preliminar solamente estudia las viguetas de forjados, por considerarlo el elemento más sensible.

En relación al número de unidades de inspección que hayamos concretado se requiere una intensidad de muestreo menor o mayor, se determina un número mínimo de muestras a extraer:

Nº UNIDADES DE INSPECCIÓN											
Nº de muestras	1-2	3-9	10-18	19-30	31-50	51-80	81-110	111-145	146-190	191-250	>250
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	4%

Estos ensayos buscan recopilar la información necesaria para la obtención de los índices que determinarán el estado de la estructura, en este caso del forjado.

En este caso solamente se evalúa el daño por corrosión, por tanto los parámetros que se requieren están relacionados con este tipo de patología y son los siguientes:

- Ancho de fisuras y desprendimiento en lasjas
- Importancia de la corrosión
- Pérdida de sección
- Profundidad de carbonatación (f)
- Espesor de recubrimiento (r)
- Caracterización del tipo de cemento
- Tipo de hormigón
- Contenido en cloruros
- Aspectos cualitativos del hormigón
- Tipo de exposición ambiental

En función de estos parámetros, que se obtienen mediante los ensayos y métodos que se mostrarán en esta misma fase de la Inspección Complementaria, se establecen tres niveles que, sumados, nos darán el valor del Índice de Corrosión, índice utilizado en esta guía como método de evaluación.

IV. OBTENCIÓN DEL ÍNDICE DE CORROSIÓN.

Efectivamente es el mismo índice que se nombra en el Manual CONTECVET, pero para obtener su valor se realiza un procedimiento ligeramente diferente y no se establece la misma escala de valores.

Así este IC depende de tres factores:

- Nivel de daño en materiales (N_D): Se debe conocer la fisuración, el nivel visual de corrosión y la pérdida de sección.

PARÁMETROS	CALIFICACIÓN			
	DESPRECIABLE 1	BAJO 3	MODERADO 6	ALTO 9
Ancho de fisuras o desprendimiento en lasjas	Sin fisuras	<0.3mm	≥0.3mm	Desprendimiento en lasjas
Importancia de la corrosión	Sin corrosión	Ligera: óxido superficial	Media: óxido en capa fina	Alta: óxido en capa gruesa
Pérdida de sección	≤1%	1%-5%	>5%-10%	>10%

- Nivel de riesgo de corrosión por factores de deterioro (N_F): Requiere conocer la edad del edificio, espesor del recubrimiento de la pieza, profundidad de carbonatación, el contenido en cloruros y el tipo de hormigón.

Con la edad del edificio (t), el espesor de recubrimiento (r) y la profundidad de carbonatación (f), se halla uno de los dos parámetros de este nivel, el Periodo de Iniciación por Carbonatación (pi), mediante las siguientes expresiones:

$$\text{Carbonatación relativa: } Cr = \frac{f}{r} ; \quad \text{Periodo de Iniciación (pi): } pi = \frac{t}{Cr^2}$$

Con este parámetro y el contenido en cloruros, obtenemos los valores de este nivel:

PARÁMETROS		CALIFICACIÓN			
		DESPRECIABLE 1	BAJO 2	MODERADO 3	ALTO 6
Periodo de iniciación	Cem. Aluminoso	>55años	55-35años	35-15años	<15años
	Cem. Portland	≥70años	70-50años	50-30años	<30años
Contenido en cloruros	H.Armado	≤0.05%	0.05%-0.09%	0.09%-0.12%	>0.12%
	H. Pretensado	≤0.03%	0.03-0.06%	0.06-0.1%	>0.10%

- Nivel de riesgo de corrosión por clase de exposición (N_E): Depende del tipo de exposición ambiental obtenido en la clasificación UNE-EN 206, clasificación mostrada también en el Manual CONTECVET.

PARÁMETRO	CALIFICACIÓN			
	DESPRECIABLE 1	BAJO 3	MODERADO 5	ALTO -
Clases de exposición	X0, XC1	XC2, XC3	XC4, XD3, XS1	No se considera

Viendo la clasificación de estos tres factores se advierte que no se consideran de igual importancia, dándole más valor al Nivel de daño (N_D) y menos al de factores de deterioro (N_F).

Finalmente, para conocer el valor de IC únicamente se deben sumar los tres valores obtenidos.

En función del valor final obtendremos una calificación del daño de la muestra:

IC	3-5	6-10	11-15	16-20
Calificación	DESPRECIABLE	BAJO	MODERADO	ALTO

V. PROPUESTA DE ACTUACIÓN.

Para esta guía el IC es el único medidor de gravedad del daño, por lo tanto, según la calificación obtenida en la tabla anterior se procederá a los siguientes tipos de actuación.

CALIFICACIÓN DEL DAÑO	ACTUACIÓN
DESPRECIABLE	Inspección en plazo superior a 10 años.
BAJO	Inspección en plazo inferior a 10 años.
MODERADO	Inspección y Evaluación Complementaria a corto plazo.
ALTO	Refuerzo o apuntalamiento inmediato.

❖ GUÍA PARA LA INSPECCIÓN Y EVALUACIÓN COMPLEMENTARIA.

Si se obtiene un valor moderado en la Inspección Preliminar (IEP) o se necesita una inspección más detallada del edificio se procede a la Inspección Complementaria (IEC), que, a diferencia de la Preliminar permite examinar todos los elementos estructurales, y además añade un parámetro de valoración que es la capacidad portante. En esta guía se establecen también cinco fases del proceso.

I. OBTENCIÓN DE DATOS COMPLEMENTARIOS

Si no se ha realizado la IEP se deben incluir los datos que en ella se especifican. Además se deberá conocer:

- Acciones permanentes y variables
- Planos de estructura
- Identificación y características de los elementos resistentes: Geometría, armado y resistencias.

II. RECONOCIMIENTO VISUAL COMPLEMENTARIO.

- Detectar lesiones (estructurales o no)
- Dividir el edificio u objeto de estudio en unidades de inspección (plantas o fracciones)
- Agrupar las unidades de inspección en zonas homogéneas de riesgo.

El tamaño de las zonas es la misma que en la IEP, pero en este caso la división de zonas tiene en cuenta más parámetros a parte de la humedad, como son:

- Tipo de elemento estructural (Pilares, vigas y viguetas)
- Clase de exposición (Se incluye ya en esta fase del proceso)
- Daños existentes (calificación del daño según la tabla de la IEP ampliada)

ELEMENTO ESTRUCTURAL	SÍNTOMA	LOCALIZACIÓN	CAUSA PROBABLE	CALIFICACIÓN DEL DAÑO	ORÍGEN
Viguetas o vigas	Fisuras Transversales	Cara inferior, en el centro	Falta resistencia a tracción	Alto	Mecánico
		Cara superior marcando la posición de los estribos	Asentamiento plástico	Bajo	Higrotérmico
		Distribuidas uniformemente o en cambios bruscos de cuantía mecánica	Retracción hidráulica	Bajo	
		Tramos centrales	Variaciones térmicas	Moderado	
	Fisuras longitudinales	Distribuidas uniformemente marcando la posición de los estribos	Corrosión de las armaduras	Despreciable	Electroquímico
		Cara superior, en el centro	Falta de resistencia a compresión	Alto	Mecánico
		Cara inferior, en la junta de unión con la bovedilla	Deformaciones diferenciales del forjado	Bajo	
		Cara superior marcando la posición de las armaduras principales	Asentamiento plástico		Higrotérmico
	Fisuras inclinadas	Cara inferior marcando la posición de la armadura principal	Corrosión de las armaduras	Despreciable	Electroquímico
		Alma, cerca de apoyos	Falta resistencia a cortante	Alto	Mecánico
Pilares	Fisuras transversales	No pasantes, distribuidas uniformemente	Falta de resistencia a flexocompresión	Alto	Mecánico
		Cabeza del pilar marcando la posición de los estribos	Asentamiento plástico	Bajo	Higrotérmico
		No pasantes, distribuidas uniformemente	Variaciones térmicas		

		Distribuidas uniformemente marcando la posición de los estribos	Corrosión de las armaduras	Despreciable	Electroquímico
	Fisuras longitudinales	Esquinas marcando la posición de la armadura principal			
		Mitad superior	Falta de resistencia a compresión	Alto	Mecánico
	Fisuras inclinadas	Mitad superior	Falta resistencia a cortante		
Forjados o losas	Fisuras transversales	Distribuidas uniformemente	Retracción hidráulica	Bajo	Higrotérmico
		Tramos centrales	Variaciones térmicas	Moderado	
		Cara superior, laterales de la vigueta	Falta de resistencia a tracción negativa	Alto	Mecánico
	Fisuras longitudinales o transversales	Marcando la posición de la armadura principal o de los estribos	Corrosión de las armaduras	Despreciable	Electroquímico
	Fisuras longitudinales	Superficie de hormigón marcando la posición de la armadura de negativos	Asentamiento plástico	Bajo	Higrotérmico
		En la capa de compresión siguiendo la dirección de las viguetas	Retracción hidráulica		
	Fisuras aleatorias	Superficie del hormigón	Retracción plástica		
	Fisuras paralelas	Superficie del hormigón	Retracción plástica		
Fisuras en mapa	Superficie del hormigón	Afogarado			

III. REALIZACIÓN DE PRUEBAS Y ENSAYOS EN CADA ZONA

Se rige por los mismos criterios que en el reconocimiento preliminar pero incrementa la intensidad de inspección.

En este caso el número de muestras a extraer será del orden de:

Nº unidades de inspección												
Nº de muestras	1-19	20-24	25-29	30-35	36-47	48-63	68-85	86-114	115-168	169-248	249-400	>400
	NºUI	20	22	24	27	30	33	36	40	44	49	14%

Se descarta realizar pruebas sobre elementos ya dañados o con lesiones conocidas

Las características a determinar son las que se necesitaban en la IEP además de las específicas de esta guía:

- Geometría del elemento y detalle del armado.
- Resistencia a compresión del hormigón y límite elástico del acero
- Determinación del peso propio y sobrecarga de uso

Los ensayos o métodos que se deben llevar a cabo tanto para estas como para las que se han especificado en la IEP se relacionan mediante la siguiente tabla:

	CARACTERÍSTICA	ENSAYOS Y PRUEBAS	
		ACERO	HORMIGÓN
Inspección y Evaluación Preliminar y Complementaria	Fisuración		Apreciación visual Cuentahilos Regleta
	Importancia de la corrosión	Apreciación visual (Velocidad de corrosión Medición de potenciales)	(Resistividad eléctrica)
	Pérdida de sección	Calibre Pie de rey	
	Calidad aparente del hormigón		Apreciación visual Resistencia a la demolición (Esclerometría Impacto-eco)
	Carbonatación del hormigón		Fenolftaleína
	Tipo de hormigón		Apreciación visual
	Concentración de cloruros		Contenido ion cloruro/peso del hormigón
	Presencia de cemento aluminoso		Test de oxina y sulfatos
	Geometría del elemento		Medición dimensiones
	Inspección y Evaluación Complementaria	Detalle del armado	Onda Electromagnética
Resistencia a compresión			Extracción de probetas testigo Ultrasonidos
Límite elástico del acero		Estimación Extracción de probetas testigo	
Peso propio y sobrecarga de uso		Normativa vigente	

Además de esta relación de ensayos se especifica también el tipo de cata que ha de realizarse para cada característica, estableciéndose cuatro niveles de cata: Visual, Con Toma de Muestras, Descriptiva y Probetas Testigo. De esta manera la relación es la siguiente:

TIPO DE CATA	CARACTERÍSTICA
CATA VISUAL	Fisuración
	Importancia de la corrosión
	Calidad aparente del hormigón
CATA CON TOMA DE MUESTRAS	Profundidad del frente carbonatado
	Tipo de hormigón
	Presencia de cemento aluminoso
CATA DESCRIPTIVA	Contenido de cloruros
	Geometría del elemento
	Detalles de armado
PROBETA TESTIGO	Determinación peso real y sobrecarga de uso
	Resistencia del hormigón
	Límite elástico del acero

IV. OBTENCIÓN DE LOS ÍNDICES DE CORROSIÓN Y ESTRUCTURAL

Se determinan estos índices en los elementos elegidos como representativos de la zona en los que se hayan realizado, obviamente, las pruebas y ensayos.

- **OBTENCIÓN DE IC:**

El procedimiento ya se ha explicado en la Guía IEP. Este índice representa los daños actuales y futuros.

- **OBTENCIÓN DE IE:**

El Índice Estructural, es un indicador de la capacidad residual del elemento estructural.

Se aplica método semi-probabilista. Se basa en los coeficientes de minoración de los materiales y de mayoración de las acciones.

En estructuras existentes, como ya se conocen las resistencias de los materiales básicamente depende de la mayoración de las acciones.

Diferencia entre elementos a flexión y a flexo-compresión.

- **Elementos a flexión:**

El margen de seguridad es el mínimo entre el valor correspondiente al margen de cortante y al margen de flexión:

$$IE = \min \left(\frac{M_U}{M_K}, \frac{V_U}{V_K} \right) \quad \text{donde} \quad M_U = A_S * f_{yd} * \left(d - \frac{x}{2} \right)$$

Los parámetros son los mismos que se han definido en el Manual CONTECVET y el Manual COAG. Los valores de estados últimos y los valores característicos de las solicitaciones.

- **Elementos a flexocompresión:**

Se divide a su vez en tres posibilidades:

- Soportes interiores con valor casi nulo de momento flector:

$$IE = \left(\frac{N_U}{N_K} \right) \quad \text{donde} \quad N_U = 0.8 * \left(0.85 * b * h * f_{cd} + A_S * f_{yd} \right)$$

- Soportes con elevada carga axil ($N > 0.5 * N_u$) y momento flector no despreciable:

$$IE = \left(\frac{N_U}{N_K} \right) \quad \text{donde} \quad N_U = \frac{N_{UD}}{K * (N_{UD} * N_{BD})}$$

- Soportes con elevada carga axil ($N > 0.5 * N_u$) y momento flector no despreciable:

$$IE = \left(\frac{M_U}{M_K} \right) \quad \text{donde} \quad M_U = \frac{1}{2} * \left[A_S * f_{yd} * (h - 2c) + h * N_D * \left(1 - \frac{N_D}{0.85 * b * h * f_{cd}} \right) \right]$$

Una vez calculado el IE obtenemos una calificación del mismo en función del valor numérico obtenido:

CALIFICACIÓN	ADECUADO	SUFICIENTE	INSUFICIENTE
IE	IE > 2.0	1.4 < IE < 2.0	IE < 1.4

- **ELECCIÓN DEL OBJETIVO DE INTERVENCIÓN:**

En este caso la prognosis se incluye en el mismo apartado. En función de los dos índices se obtiene, no el tiempo de actuación como ocurre en otros casos si no, directamente, el tipo de intervención que se debe realizar.

IE	IC			
	DESPRECIABLE 3-5	BAJO 6-10	MODERADO 11-15	ALTO 16-20
INSUFICIENTE <1.4	Refuerzo	Refuerzo	Sustitución	Sustitución
SUFICIENTE 1.4 -2.0	No se necesita intervención	Reparación	Refuerzo	Sustitución
ADECUADO >2.0	No se necesita intervención	Protección	Reparación	Reparación

Estos datos son orientativos y existen factores modificadores que pueden ayudar a discernir el tipo de actuación en caso de haber obtenido valores cercanos a los umbrales de cada calificación. Estos son:

- Ausencia de lesiones aparentes determina buen estado.
- Geometría y disposición de la estructura :
Supone un riesgo bajo las dimensiones generosas de pilares y vigas, luces reducidas, vigas de cuelgue, alturas libres inferiores a 3m, regularidad y simetría de distribución de cargas, no exposición a la acción horizontal del viento.
- Grado de hiperestaticidad de la estructura:
Para estructuras isostáticas el fallo local puede provocar el fallo inmediato de la estructura.
- Consecuencias del posible fallo: Leves o significativas.
- Capacidad de aviso
- Extensión del daño

La influencia de estos factores puede suponer una intervención menos exigente en el caso de ser favorable o una intervención más intensa en caso de ser desfavorable.

FACTORES	INFLUENCIA DEL FACTOR	
	FAVORABLE	DESFAVORABLE
Ausencia de lesiones aparentes	Si	No
Geometría y disposición	Bajo Riesgo	Alto Riesgo
Grado de hiperestaticidad	Hiperestática	Isostática
Consecuencias del fallo	Leves	Significativas
Capacidad de aviso	Si	No
Extensión del daño	Poco extendido	Muy extendido

V. AGRUPACIÓN DE LOTES

Como acción final de la inspección propone agrupar los elementos de las zonas que se han determinado previamente en lotes en función del tipo de intervención que se ha propuesto tras el análisis con el motivos de poder realizar las intervenciones de manera ordenada y sin ningún tipo de confusión.

❖ **GUÍA DE INTERVENCIÓN.**

En esta guía se toma como datos de partida los resultados obtenidos en la Guía IEC, a los que denomina como Objetivos Iniciales.

Combinando estos Objetivos Iniciales y la calificación de daños de los elementos según la tabla que se recoge en el apartado de Reconocimiento Visual Complementario que especifica el origen, causa probable y calificación del daño, determina unos Objetivos Finales, que suponen una actuación más concreta y orientada.

RECONOCIMIENTO VISUAL COMPLEMENTARIO			OBJETIVOS INICIALES IEC			
ORIGEN	CAUSA PROBABLE	CALIFIC.	PROTECCIÓN	REPARACIÓN	REFUERZO	SUSTITUCIÓN
Mecánico	Falta de resistencia	Alto			Inc. de la cap. portante	Sust. Física. Sust. funcional
	Deform. excesivas forj. Deform. diferenciales del forjado	Bajo		Restauración del H a la forma y función original		
	Acumulación de cargas sobre el forjado	Moderado		Restauración del H a la forma y función original		
Higrotérmico	Asentamiento plástico del hormigón. Retracción plástica del H Afogado. Retracción hidráulica del H	Bajo	Reducción o prevención contra la penetración de agentes adversos.			
	Variaciones térmicas	Moderado		Rest. del H a la forma y función original por sustitución parcial. Rest. de la capacidad portante del H.		
	Ataques por ciclos de hielo-deshielo	Bajo	Reducción o prevención contra la penetración de agentes agresivos.	Rest. del H a la forma y función original.		
	Fugas en instalaciones y fallos impermeab.	Bajo		Rest. del H a la forma y función original.		
Químico	Ataque químico ácido-álcali Ataque químico por sulfatos	Bajo	Incr. de la resist. al deterioro por ataques químicos.			
		Moderado		Rest. de la cap. portante del H.		
		Alto		Rest. del H en forma y función original, por sustitución parcial		
	Ataque químico por aguas y ácidos	Bajo	Incr. de la resist. al deterioro por ataque químico.			
Moderado o alto			Rest. del H a la forma y función original, por sustitución parcial.			
Electroquímico	Corrosión de las armaduras	Despreciab.	Reduc. o prevención contra la penetración de agentes adversos			
		Bajo	Reducción o prevención contra la penetración de agentes adversos. Limitación de la humedad. Limitación de oxígeno. Control anódico con pintado de la arm. Control catódico con potencial eléctrico.			
		Moderado		Rest. del H a la forma y función original. Conserv. o recup. del pasivado de la armadura. Rest. de la cap. portante de la armadura		
		Alto			Inc. de la cap. portante	Sust. física Sust. funcional.

Finalmente, para cada Objetivo Final se seleccionan unos Sistemas de Intervención adecuados.

OBJETIVOS FINALES DE LA INTERVENCIÓN		SISTEMAS DE INTERVENCIÓN	
Protección	Daños en el hormigón	Reducción o prevención contra la penetración de agentes adversos	Impregnación hidrófoba
			Impregnación selladora
			Revestimiento con o sin capacidad de puenteo
			Inyección de fisuras
			Sellado de fisuras
			Ocratización
		Control de humedad dentro de un intervalo de valores especificado	Impregnación hidrófoba
			Revestimiento
	Daños en la armadura	Incremento de la resistencia al ataque físico	Tratamiento electroquímico
			Impregnación
			Revestimiento
			Sellado de fisuras
		Incremento de la resistencia al deterioro por ataque químico	Revestimiento
			Sellado de fisuras
Reparación	Limitación del contenido de humedad. Incremento de la resistividad eléctrica del hormigón	Impregnación hidrófoba	
		Revestimiento	
	Limitación del contenido de oxígeno Creación de las condiciones para que las áreas potencialmente catódicas de la armadura hagan imposible alcanzar una reacción anódica	Revestimiento del hormigón o de la armadura	
		Impregnación de inhibidores de corrosión	
		Revestimientos con pigmentos activos	
		Revestimientos barrera	
	Control de las áreas anódicas, mediante pintado de la armadura, para impedir reacción de corrosión	Impregnación de inhibidores de corrosión	
	Control de las áreas catódicas, mediante aplicación de un potencial eléctrico, para impedir una reacción de corrosión	Protección catódica	
	Reemplazo del hormigón a la forma y función original. Restauración de la estructura por sustitución parcial.	Reemplazo del hormigón (Parcheo)	
Bombeo de hormigón o mortero			
Restauración de la capacidad portante del hormigón		Inyección de fisuras	
		Cosido de grietas	
Recuperación o conservación del pasivado de la armadura		Incremento del recubrimiento de la armadura	
		Reemplazo del hormigón contaminado o carbonatado	
		Re alcalinización electroquímica	
		Extracción electroquímica de cloruros	
Restauración de la capacidad portante de la armadura	Re alcalinización por difusión		
	Extracción de cloruros por absorción		
Incremento de la capacidad portante de un elemento de la estructura de hormigón	Impregnación de inhibidores de corrosión		
	Reposición de barras de acero estructural embebidas o exteriores.		
	Recrecido de hormigón		
	Adición de barras de acero estructural embebidas o exteriores		
	Planchas de acero adheridas con resina epoxi		
Incremento o restauración de la capacidad portante de un elemento de la estructura de hormigón por sustitución funcional del mismo	Bandas de materiales compuestos		
	Adhesión de perfiles		
Incremento o restauración de la capacidad portante de un elemento de la estructura de hormigón por sustitución física del mismo	Pretensado o post-tensado		
	Adhesión de perfiles sin eliminación del elemento estructural existente		
	Eliminación y reemplazo de un elemento estructural existente		

4. APLICACIONES AL CASO.

4.1. TOMA DE DATOS DEL CASO.

Como ya se ha dicho en las características generales, se ha seleccionado para este estudio una de las plantas del edificio, concretamente la de la cota 0,00m.

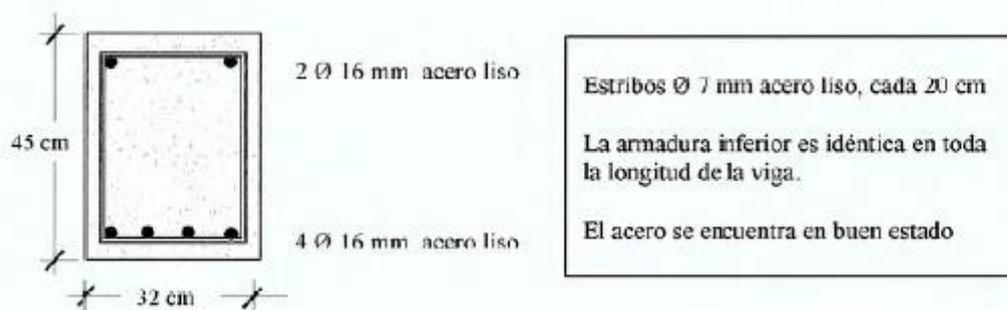
Esta planta ha sido dividida en lotes, tras los datos obtenidos en la inspección, como sugieren casi todas las guías, y como elementos representativos de dos de estos lotes se ha escogido la viga 10-11-12-13-14-15-16, representada en el plano que se muestra en la página siguiente y un vano de forjado de esta misma planta, que, tras comprobarse mediante varias catas, se sabe que tiene las mismas características y tipología en todo el edificio.

Como datos generales y comunes a los dos elementos se han recopilados los siguientes:

- Edad del edificio: 1965 (50 años)
- Exposición ambiental: Muy próximo al mar. Zona de costa. XS1
- Cargas permanentes: $4,50 \text{ kN/m}^2$
- Sobrecarga de uso: $2,00 \text{ kN/m}^2$
- Tipo de cemento: Portland. Con árido calizo de tamaño máximo 12mm.
- Tipo de hormigón: Hormigón Armado Endurecido. De densidad media 2.400 kg/m^3
- Resistencia característica del hormigón (f_{ck}) = 15Mpa
- Resistencia estimada del hormigón ($f_{ck,est}$) = 20,45 Mpa
- Edad del hormigón: Más de 28 días.
- Límite elástico del acero (f_{yk}) = 220 MPa

En cuanto a datos concretos de la viga:

Su geometría y disposición de la armadura son las que se muestran a continuación.



Además se conocen otros datos:

- Recubrimiento 2,5 cm.
- Los vanos son isostáticos de carga uniformemente repartida.
- Sus diagramas de esfuerzos son los siguientes:

Diagrama de momentos flectores. Valores mayorados y en kNm.

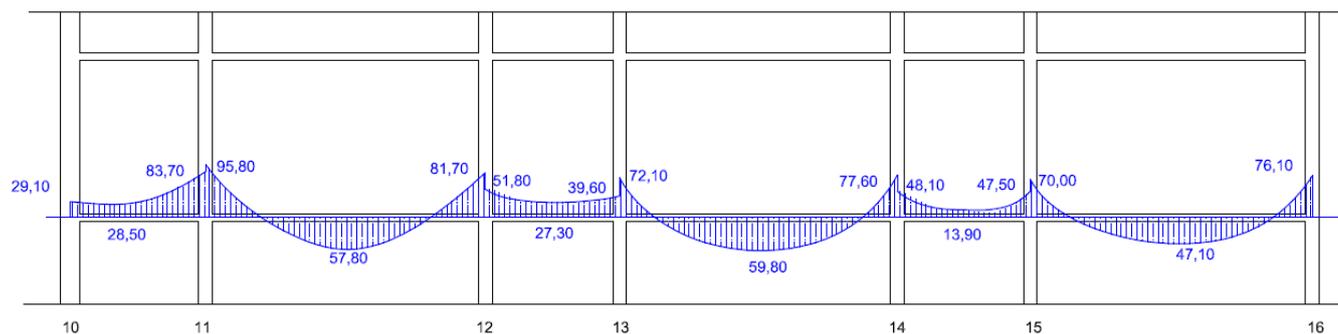
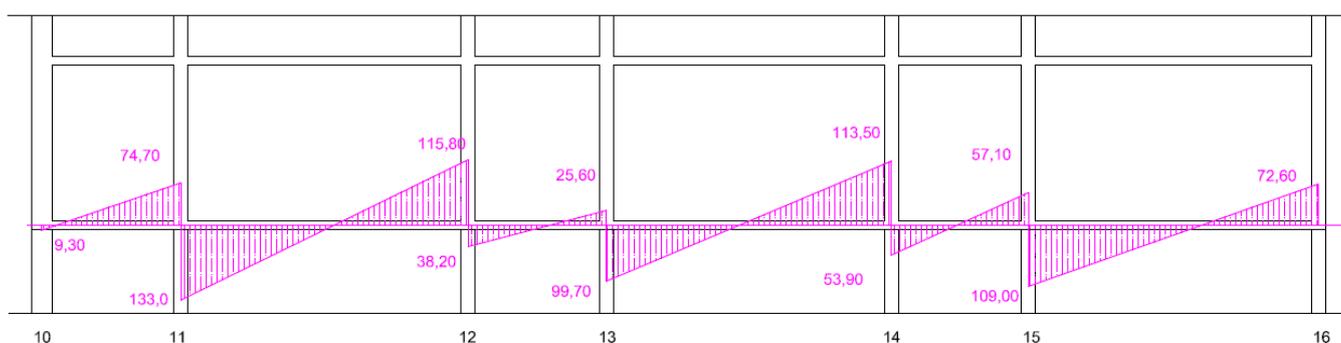
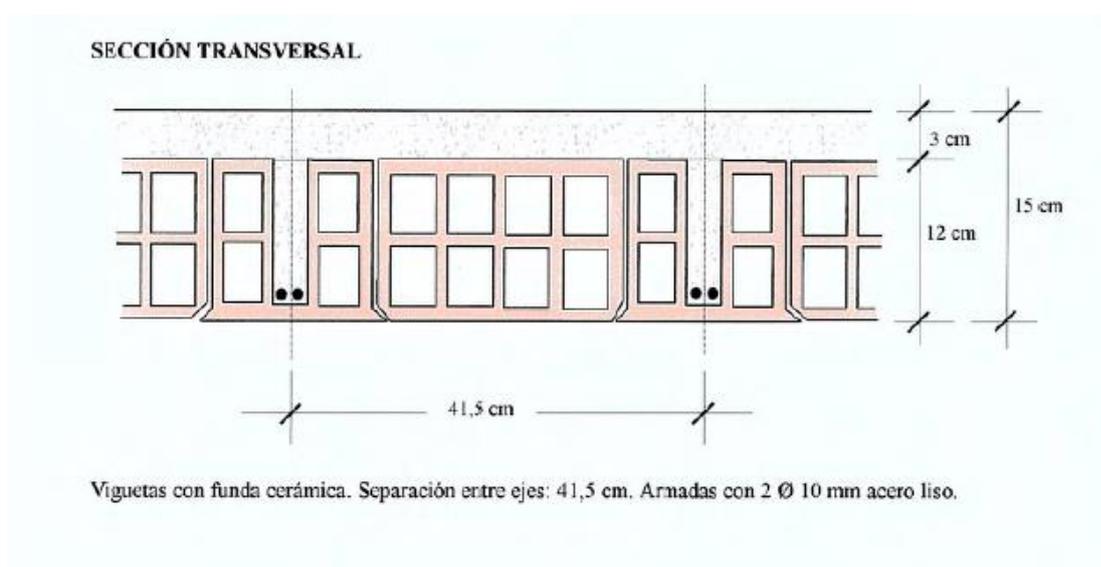


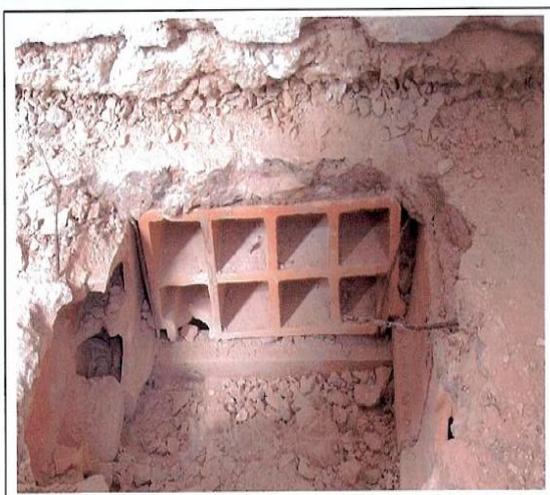
Diagrama de esfuerzos a cortante. Valores mayorados y en kNm.



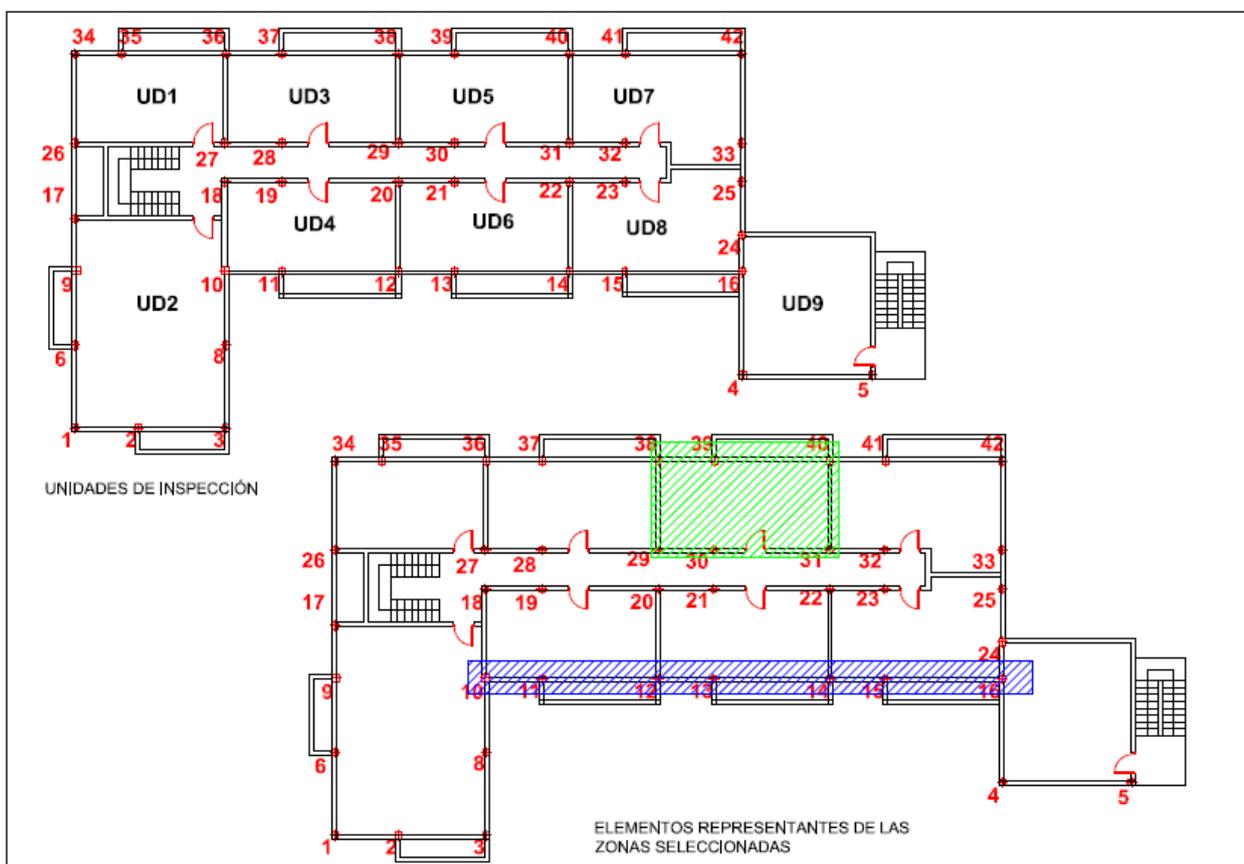
En el caso del forjado, su tipología es la siguiente:



Se han realizado catas en los dos elementos, tal y como se muestra en las fotografías que se muestran a continuación, la primera pertenece al forjado y la segunda a la viga:



Como se ha comentado al inicio de este apartado, la división realizada en la planta se muestran a continuación, también se han dividido las unidades de inspección en zonas en función de su humedad y tipología estructural, los elementos que vamos a estudiar se han determinados como representativos de dos de las zonas y se han resaltado en el plano de la siguiente imagen:



4.2. APLICACIÓN AL CASO. MANUAL COAG.

ESTUDIO DE FORJADO Y VIGA.

- INSPECCIÓN VISUAL:

Los datos necesarios se muestran en los datos del caso. Se ha dividido la planta a evaluar en zonas en función del tipo de elemento y la humedad. Se ha establecido un plan de ensayos y determinado las lesiones visibles.

- RECONOCIMIENTO PREVIO (ENSAYOS) :

Se han obtenido, mediante los medios sugeridos u otros similares los siguientes parámetros:

Parámetro	Valor obtenido
Geometría del elemento	45x32cm
Detalle del armado	4Ø 16mm
Área de la armadura (A_s)	804,24 mm ²
Resistencia a compresión	15 MPa
Límite elástico del acero	220 N/mm ²
Peso Propio	4,50 KN/m ²
Sobrecarga de Uso	2,00 KN/m ²
Canto útil d (h-r)	425mm

- ANÁLISIS DE LA PATOLOGÍA: RELACIÓN CAUSA EFECTO.

El mal estado se debe a una combinación de proyecto, uso y ambiente.

- EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL ELEMENTO:

Mediante el cálculo de momentos últimos y momentos de cálculo para obtener el coeficiente de seguridad.

En primer lugar calcularemos el coeficiente de seguridad del forjado.

Al ser un elemento sometido a flexión se debe comprobar tanto el Momento flector como el valor de cortante.

El Momento de Cálculo M_D se obtiene con la expresión: $M_D = \frac{q \cdot l^2}{8} * 0,415 = 8,26 \text{ KNm}$

Y el Cortante de Cálculo V_D con la expresión: $V_D = q * \frac{l}{2} * 0,415 = 8,26 \text{ KN}$

El Momento último M_U obtenido con la expresión:

$$M_U = \mu * b * d^2 * f_{cd} = 0,055 * 40 * 12^2 * \frac{150}{1,5} = 31.680 \text{ kp/cm}^2 = 3,11 \text{ kNm}$$

Habiéndose obtenido μ mediante diagrama de Jiménez Montoya.

Por último, para comprobar el esfuerzo último a cortante debemos obtener dos valores: V_{u1} y V_{u2} .

$$V_{u1} = 0,30 * f_{cd} * b * d = 0,30 * \frac{15}{1,50} * 400 * 120 = 144.000 \text{ N} = 144 \text{ KN}$$

Al no tener armadura de cortante, V_{u2} se resuelve mediante la siguiente expresión:

$$V_{u2} = \left[\frac{0,18}{1,50} * \left(1 + \sqrt{\frac{200}{120}} \right) * \left(100 * \left(\frac{1,57}{4 * 12} \right) * 15 \right)^{1/3} \right] * 40 * 120 = 4.828,82 \text{ N} = 4,83 \text{ KN}$$

Para conocer el coeficiente de seguridad es necesario obtener los valores característicos, que son los valores resultantes cuando no se tienen en cuenta las cargas de mayoración de los valores de cálculo obtenidos.

En primer lugar hallamos el coeficiente total de cargas que hemos de aplicar, según la normativa vigente.

Conociendo las cargas y sus coeficientes de mayoración obtenemos el coeficiente total que es:

$$\gamma = \frac{(P * 1,35) + (Q * 1,50)}{(P + Q)} = \frac{(4,50 * 1,35) + (2,00 * 1,50)}{(4,50 + 2,00)} = 1,396 \approx 1,40$$

Por tanto:

$$M_k = \frac{M_d}{\gamma} = \frac{8,26}{1,40} = 5,90 \text{ kNm} ; \quad V_k = \frac{V_d}{\gamma} = \frac{8,26}{1,40} = 5,90 \text{ kNm}$$

El valor de coeficiente de seguridad que se tendrá en cuenta será el mínimo entre los dos tipo de sollicitación.

$$\gamma = \frac{M_u}{M_k} = \frac{3,11}{5,90} = 0,53 \quad ; \quad \gamma = \frac{V_u}{V_k} = \frac{4,83}{5,90} = 0,82$$

Se seleccionará el coeficiente de seguridad del momento flector, ya que es el menor, sin embargo, se debe resaltar que este cálculo no sería necesario ya que no cumple la primera de las comprobaciones $M_d < M_u$ ni $V_d < V_u$ y supondría una intervención inmediata.

En cualquier caso, aplicando el valor de γ a la tabla de clasificación obtendríamos:

COEF. DE SEGURIDAD	GRAVEDAD DE LESIÓN	TIEMPO DE ACTUACIÓN	INTERVENCIÓN
$\gamma < 1,00$	Muy Graves	Intervención inmediata	Demolición obligatoria
$1,00 < \gamma < 1,20$	Muy Graves	Intervención inmediata	Posible Demolición
$1,20 < \gamma < 1,30$	Graves	Intervención en 6 meses	Refuerzo obligatorio
$1,30 < \gamma < 1,50$	Medios	Control Anual	Posible Refuerzo
$\gamma > 1,50$	Leves	Control Trianual	Mantenimiento

Procederemos ahora a calcular el coeficiente de seguridad en la viga o jácena.

Al igual que en el caso del forjado, al ser un elemento sometido a flexión ha de comprobarse a cortante y a momento flector.

En este caso, los valores de cálculo los obtenemos de los diagramas de esfuerzos recogidos en los datos del caso. El valor más desfavorable en el centro del vano M_d es igual a 59,80 kNm y el valor de cortante V_d es igual a 133,00 kN.

El momento último se obtiene de igual forma que en el caso del forjado:

$$M_U = \mu * b * d^2 * f_{cd} = 0,128 * 320 * 425^2 * \frac{15}{1,5} = 73.984.000 \text{ Nmm} = 73,98 \text{ kNm}$$

Las expresiones del cortante último al tener, en este caso, armadura a cortante varían, y son las siguientes:

$$V_{U1} = 0,30 * f_{cd} * b * d = 0,30 * \frac{15}{1,50} * 320 * 425 = 408.000 \text{ N} = 408 \text{ KN}$$

$$V_{U2} = V_{cu} + V_{su}$$

$$V_{cu} = \left[\frac{0,15}{\gamma_c} * \left(1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \right) * \left(100 * \left(\frac{A_s}{b_0 * d} \right) * f_{ck} \right)^{1/3} \right] * b_0 * d$$

$$V_{cu} = \left[\frac{0,15}{1,50} * \left(1 + \sqrt{\frac{200}{425}} \right) * \left(100 * \left(\frac{8,04}{32 * 42,5} \right) * 15 \right)^{1/3} \right] * 320 * 425 = 46.786,72 \text{ N} = 46,79 \text{ KN}$$

$$V_{su} = 0,90 * d * A_{90} * f_{yd90} = 0,90 * 425 * \frac{\pi * 7^2}{4 * 200} * 191,30 = 14.079 \text{ N} = 14,08 \text{ KN}$$

$$V_{U2} = 46,79 + 14,08 = 60,87 \text{ KN}$$

Al igual que en el caso anterior, el estudio del forjado, debemos conocer los valores característicos, que, aplicando el mismo coeficiente total de cargas, se obtienen los siguientes valores:

$$M_k = \frac{M_d}{\gamma} = \frac{59,80}{1,40} = 42,71 \text{ kNm}; \quad V_k = \frac{V_d}{\gamma} = \frac{133,00}{1,40} = 95,00 \text{ kNm}$$

Por lo tanto los coeficientes que obtendremos serán:

$$\gamma = \frac{M_u}{M_k} = \frac{73,98}{42,71} = 1,73 \quad ; \quad \gamma = \frac{V_u}{V_k} = \frac{60,87}{95,00} = 0,64$$

En este caso si se cumple la primera condición $M_d < M_u$ y $V_d < V_u$, motivo por el cual podríamos deducir que la viga se encuentra en mejor estado que el forjado, y en cuanto a momento flector así es, sin embargo, introduciendo el coeficiente mínimo obtenido, es decir, el de esfuerzo cortante, el tipo de actuación a realizar será la misma que en el caso anterior:

COEF. DE SEGURIDAD	GRAVEDAD DE LESIÓN	TIEMPO DE ACTUACIÓN	INTERVENCIÓN
$\gamma < 1,00$	Muy Graves	Intervención inmediata	Demolición obligatoria
$1,00 < \gamma < 1,20$	Muy Graves	Intervención inmediata	Posible Demolición
$1,20 < \gamma < 1,30$	Graves	Intervención en 6 meses	Refuerzo obligatorio
$1,30 < \gamma < 1,50$	Medios	Control Anual	Posible Refuerzo
$\gamma > 1,50$	Leves	Control Triannual	Mantenimiento

4.3. APLICACIÓN AL CASO. MANUAL COAB.

- **PREDIAGNOSIS:**

Se ha realizado la inspección visual, se cuenta con planos de definición y se han obtenido los datos necesarios para la diagnosis, recogidos en los datos del caso.

No se considera ni que la estructura está en tan buen estado que no es necesario inspeccionarla ni se advierte a simple vista que requiera de intervención urgente.

- **DIAGNOSIS:**

- **INSPECCIÓN DETALLADA:**

Se han determinado zonas en función del elemento, lesiones y grado de humedad.

- **TOMA DE MUESTRAS Y PRUEBAS:**

Se han realizado los ensayos y pruebas oportunas y mediante los métodos recomendados o similares se han obtenidos los valores de los parámetros requeridos, que son los mismos que se han referenciado en la aplicación al caso anterior mediante el Manual COAG.

- **EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD ESTRUCTURAL:**

El manual propone varios métodos de evaluación. La analítica general es la que se ha utilizado en la aplicación del caso anterior, y la experimental y la empírica no nos sirven para este estudio, ya que se basan en términos subjetivos, por lo tanto se procede a la evaluación analítica pero por el método simplificado, mediante la comprobación semi-empírica que evalúa en función de indicadores geométricos y mecánicos.

Debido a las características que requieren los indicadores solo es posible estudiar la naturaleza del forjado.

Se realiza el peritaje ya que se considera que en el momento de la inspección no está aún afectada, pero si podría estarlo en un futuro.

- **Obtención de indicadores:**

Indicadores geométricos (n_1):

CUESTIÓN	VALOR DE n_1	VALORES DEL CASO
¿Hay información previa de la vigueta?	2	No. No hay ficha de autorización de uso (0)
¿Hay capa de compresión?	Si tiene capa de compresión =1 Si no tiene capa y la capa comprimida es más grande que la base de la vigueta =0 Si no tiene capa y la capa comprimida no es más grande que la base de la vigueta = -1	Sí. Hay capa de compresión de 3 cm > 2cm (1)
¿El entrevigado es de buena calidad?	0,5	No se sabe (0)
¿El intereje es pequeño?	0,2	Si. 42,5 cm < 60cm (0,2)
¿El material de recubrimiento de senos es correcto?	2	No hay senos (0)
¿La vigueta es continua?	2	Sí. (2)
¿La carga sobre la pared o dintel es correcta?	0,5	Sí (0,5)

Por tanto el valor final de n_1 será igual a **3,7**.

Indicadores mecánicos (n_2):

En relación a los parámetros que se necesitan para obtener estos indicadores mecánicos, los datos del forjado son los siguientes:

Parámetro	Valor obtenido
Canto (h)	15 cm
Luz máxima (L)	485 cm
Tipo de vigueta	Armada
Resistencia a compresión	<100 kp/cm ²
Tipo de armadura	Lisa
Cuantía	2Ø10
Intereje	41,5 cm
Luz de vigueta	3,90 m

La relación canto- luz se rige por la siguiente expresión:

$$\frac{L_{m\acute{a}x}}{30} = 16,17$$

Para obtener el indicador del armado se resuelve la siguiente ecuación:

$$K = \frac{q \cdot i \cdot L^2}{6,4 \cdot h} = \frac{650 \cdot 41,5 \cdot 3,90^2}{6,4 \cdot 15} = 4.237,85; \quad A_s = 1,57 \text{ cm}^2$$

Indicadores mecánicos (n_2)									
Canto forjado		Resistencia estimada del H (kp/cm ²)			Armado del forjado				
H (cm)	n_2	Tipo de vigueta		n	Liso (A)	Corrugado (A)	Alambre (A)	Def. Fy (A*Fy)	n_2
		Armada	Pretensada						
<L _{max} /30	1	<100	<150	1	≤4,55*10 ⁻⁴ *K	≤2,38*10 ⁻⁴ *K	≤0,83*10 ⁻⁴ *K	≤K	0
Intermedio	2	Intermedio		2	≤5,91*10 ⁻⁴ *K	≤3,09*10 ⁻⁴ *K	≤1,08*10 ⁻⁴ *K	≤1,30 *K	1
> L _{max} /20	3	>150	>200	3	≤6,82*10 ⁻⁴ *K	≤3,57*10 ⁻⁴ *K	≤1,25*10 ⁻⁴ *K	≤1,50 *K	2
					≤7,50*10 ⁻⁴ *K	≤3,93*10 ⁻⁴ *K	≤1,37*10 ⁻⁴ *K	≤1,65 *K	3
					Intermedio				4
					≥8,25*10 ⁻⁴ *K	≥4,32*10 ⁻⁴ *K	≥1,51*10 ⁻⁴ *K	≥1,81*K	6

El valor final de n_2 será igual a 2.

Sumando los valores de n_1 y n_2 obtenemos un valor total de N de 5,7.

Por lo tanto el objeto de actuación será:

Valor de N	INTERVENCIÓN Y TIEMPO DE ACTUACIÓN
<5	Se ha de intervenir el forjado.
5-9	Inspección en plazo inferior a 2 años.
9-14	Inspección en plazo inferior a 5 años.
>14	Inspección en plazo inferior a 10 años.

Al tener un valor tan próximo a 5, umbral que separa la intervención del mantenimiento se sugeriría una inspección en un plazo de tiempo más corto.

Al considerarse de gravedad leve, la intervención que se sugiere es la de acciones correctoras, previniendo la humedad y reparando las capas más superficiales.

- **EVALUACIÓN DE LA DURABILIDAD:**

Teniendo en cuenta un Macroclima urbano y Microclima húmedo la **Clase de Agresividad se considera de valor II**. De acuerdo con ello, el riesgo de la estructura es:

Agresividad Ambiental		
CLASE DE AGRESIVIDAD	AGRESIVIDAD	RIESGO DE DETERIORO DE LA ESTRUCTURA
I	Débil	Insignificante
II	Media	Pequeño
III	Fuerte	Grande
IV	Muy Fuerte	Elevado

Por otro lado, para determinar el grado de corrosión, se han obtenido los siguientes datos:

Parámetro	Valor obtenido
Edad de la estructura	50 años
Espesor de recubrimiento	2cm
Profundidad de carbonatación K	0,318

La extensión recorrida por el agente será:

$$c' = K * t^{1/2} = 0,318 * 50^{1/2} = 2,24 \text{ cm}$$

Y por tanto: $c > c'$ no se cumple ya que $2\text{cm} < 2,24\text{cm}$.

Sin embargo es un valor muy próximo, razón por la cual se puede considerar que la estructura está poco afectada.

- **DIAGNÓSTICO:**

Con los valores obtenidos en las evaluaciones el diagnóstico final es:

- **Seguridad Limitada**
- **Durabilidad Dudosa**

Ya que en ambos casos la estructura está afectada pero en grado menor.

Por último, la actuación que se requiere, teniendo en cuenta las clasificaciones de seguridad y durabilidad es la de **Reparación o Refuerzo**.

4.4. APLICACIÓN AL CASO. MANUAL CONTECVET.

En el caso de esta guía solo es posible analizar la viga, ya que los parámetros que requiere no son válidos para un forjado. Se podría obtener el IC pero no el IE.

- INSPECCIÓN:

Los datos que se requieren son:

- Tipología Estructural: **Ya se ha definido en los datos del caso.**
- Agresividad Ambiental: Se utiliza la clase de exposición de la norma UNE-EN 26. Según esta, al estar el edificio próximo al mar y la costa se considera una del tipo **XS1**.
- Nivel de Daño: Cuantificación de los Indicadores de Daños por Corrosión. Obtenidos mediante distintos ensayos y cálculos.

Indicador	Valor obtenido	Medio obtención
Profundidad de carbonatación (X_{co2})	3,18 cm	Raíz cuadrada del tiempo
Nivel de cloruros (X_{cl})	2,25 cm	Raíz cuadrada del tiempo
Fisuración por corrosión en el recubrimiento (w)	>0.3mm	Inspección
Resistividad (ρ)	600	Potenciales
Pérdida de sección (Φ)	<1%	Inspección
Intensidad de corrosión (I_{corr})	0,25	Resistencia de polarización

- DIAGNOSIS

- OBTENCIÓN DEL ÍNDICE DE CORROSIÓN (IC):

Con los datos obtenidos en la inspección se clasifica la estructura. Los valores marcados en rojo son los valores del caso.

En primer lugar se obtiene el índice AA (Agresividad Ambiental):

Clase	X0 / I	XC1	XC2 /IIa	XC3/ IIb	XC4	XD1	XD2/ IV	XD3	XS1/ IIIa	XS2 /IIIb	XS3 /IIIc
AA	0	1	1	2	3	2	3	4	2	3	4

Después el nivel de IDC en función de los indicadores de daño:

Indicador	Nivel I	Nivel II	Nivel III	Nivel IV
Profundidad de carbonatación (X_{co2})	$X_{co2} = 0$	$X_{co2} < c$	$X_{co2} = c$	$X_{co2} > c$
Nivel de cloruros (X_{cl})	$X_{cl} = 0$	$X_{cl} < c$	$X_{cl} = c$	$X_{cl} > c$
Fisuración por corrosión en el recubrimiento (w)	Sin fisuras	Fisuras $< 0.3mm$	Fisuras $> 0.3mm$	Fisuración generalizada y estallidos
Resistividad (ρ)	> 1.000	500 – 1.000	100-500	< 100
Pérdida de sección (Φ)	$< 1\%$	1-5%	5-10%	$> 10\%$
Intensidad de corrosión (I_{corr})	< 0.1	0.1-0.5	0.5-1	> 1

Por tanto: $IDC = \frac{4+2+3+2+1+2}{6} = 2,33$

$$\text{Y por último: } IC = \frac{AA+IDC}{2} = \frac{2+2,33}{2} = 2,165$$

Valor que supone un nivel de corrosión:

Valor de IC	0-1	1-2	2-3	3-4
Nivel de corrosión	N (Sin corrosión)	B (Baja corrosión)	M (Corrosión Moderada)	A (Corrosión Alta)

▪ OBTENCIÓN DEL ÍNDICE ESTRUCTURAL (IE):

Como estamos examinando una viga utilizaremos las tablas que se especifican para elementos a flexión.

Se determina el índice de armado transversal. Como se muestra en la sección de la viga en los datos del caso el diámetro es menor a 8mm y, siendo la separación de los cercos de 200mm y d (el canto útil de la sección) 425 mm, este índice será del orden de:

Φ_t	Separación de los cercos			Sin cercos
	$S_t \leq 0.5d$	$S_t > 0.5d$ (4ramas)	$S_t > 0.5d$	
>8mm	1	1	2	1
$\leq 8mm$	2	2	3	

De acuerdo con este índice y el armado longitudinal se determina el valor de IE. El diámetro es menor de 20mm y la cuantía baja debida a la armadura de compresión.

INDICE DE ARMADO TRANSVERSAL	ARMADURA LONGITUDINAL (mm)			
	$\emptyset \geq 20$		$\emptyset < 20$	
	Alta cuantía	Baja Cuantía	Alta Cuantía	Baja cuantía
1	I	II	II	III
2	II	III	III	IV
3	III	IV	IV	IV

La consecuencia del fallo se considera significativa.

Con todos los índices obtenidos procedemos a conocer el nivel de evaluación del IDE para nuestro caso, que será:

IC	IE							
	I		II		III		IV	
	Consecuencias del posible fallo							
	Leve	Sig	Leve	Sig	Leve	Sig	Leve	Sig
0-1	D	D	D	D	D	M	M	M
1-2	M	M	M	M	M	S	M	S
2-3	M	S	M	S	S	MS	S	MS
3-4	S	MS	S	MS	S	MS	MS	MS

El nivel de daño obtenido es **MUY SEVERO**.

Vamos a comprobar si aplicando el margen de seguridad se reduce el nivel de daño.

Para conocerlo debemos obtener en primer lugar el momento característico, que resulta ser el mismo que ya se determinó con el Manual COAG:

$$M_k = \frac{M_d}{\gamma} = \frac{59,80}{1,40} = 42,71 \text{ kNm}$$

El momento último se obtiene de la expresión simplificada que utiliza también la Guía IVE.

$$M_U = A_S * f_{yd} * \left(d - \frac{x}{2}\right) = 804,24 * \frac{220}{1,15} * \left(425 - \frac{37,7}{2}\right) = 62.486.629,14 \text{ Nmm} = 62,49 \text{ KNm}$$

Por lo tanto: $MS = \frac{M_u}{M_k} = \frac{62,49}{42,71} = 1,46$

Este margen se considera:

Margen de seguridad	BAJO	MEDIO	ALTO
MS	1,4 < MS < 2,0	2,0 < MS < 3,0	MS > 3,0

Y el valor de IDE final que se obtiene es:

IDE	MS BAJO	MS MEDIO	MS ALTO
D	D	D	D
M	M	D	D
S	S	M	D
MS	MS	S	M

Al tener un margen de seguridad también bajo el valor del IDE no disminuye. Sigue siendo **MUY SEVERO**. Como conclusión a todo el proceso la intervención será:

IDE	Urgencia de Intervención	Sugerencia de actuación
Despreciable	>10 años	Inspección superado ese tiempo
Medio	5-10 años	Inspección superado ese tiempo
Severo	2-5 años	Evaluación Detallada
Muy Severo	0-2 años	Reparación Urgente y Recalculo mediante Evaluación Detallada

Debe intervenir en un plazo de tiempo no superior a dos años, sin embargo se recomienda una reparación urgente, por lo que sería conveniente no alcanzar el año sin haber intervenido la estructura, y antes de ello se aconseja realizar una evaluación detallada para conocer mejor los daños y así proceder de manera más correcta y útil en la intervención.

4.5. APLICACIÓN AL CASO. GUÍAS IVE.

Ya que la Inspección Preliminar está diseñada para la evaluación de viguetas y la Complementaria para todos los elementos estructurales analizaremos en este caso el forjado mediante la IEP y la viga mediante la IEC.

ESTUDIO DE FORJADO. IEP.

- OBTENCIÓN DE DATOS PREVIOS:

Se tiene información verbal, escrita y gráfica incluyendo planos y se han establecido los objetivos del estudio.

- RECONOCIMIENTO VISUAL:

El edificio se ha dividido en plantas y esas plantas en unidades de inspección. En la planta que nos ocupa (cota 0.00) se han creado 9ud. De inspección (1por vivienda) y la zona del elemento a inspeccionar se ha considerado **Con Riesgo**, por estar poco protegida de la humedad.

Al observarse fisuras longitudinales en la junta de unión con la bovedilla se considera una **Calificación de Daño de Nivel Bajo**, (según la tabla de la guía).

- REALIZACIÓN DE PRUEBAS Y ENSAYOS:

Al haber 9 unidades de inspección en la planta la guía nos obliga a extraer como **mínimo 2muestras**. Se han obtenido 3.

Las características necesarias se han obtenido por los ensayos y pruebas correspondientes y tienen los siguientes valores:

Característica	Valor obtenido
Ancho de fisuras	0.5mm
Capa de corrosión	Capa fina
Profundidad de carbonatación	3,18cm
Espesor de recubrimiento	2cm
Tipo de Cemento	Portland
Tipo de hormigón	Armado
Pérdida de sección	<1%
Cloruros	0.021%
Exposición Ambiental	XS1
Carbonatación relativa	1,59
Periodo de iniciación	19,78

- OBTENCIÓN DEL ÍNDICE IC:

Con los datos que se conocen se procede a establecer los tres niveles que determinan el IC, teniendo en cuenta en todos ellos siempre el parámetro o característica más desfavorable. Los valores obtenidos son los marcados en color rojo.

PARÁMETROS	CALIFICACIÓN N_b			
	DESPRECIABLE 1	BAJO 3	MODERADO 6	ALTO 9
Ancho de fisuras o desprendimiento en lasaj	Sin fisuras	<0.3mm	≥0.3mm	Desprendimiento en lasaj
Importancia de la corrosión	Sin corrosión	Ligera: óxido superficial	Media: óxido en capa fina	Alta: óxido en capa gruesa
Pérdida de sección	≤1%	1%-5%	>5%-10%	>10%

PARÁMETROS		CALIFICACIÓN N _E			
		DESPRECIABLE 1	BAJO 2	MODERADO 3	ALTO 6
Periodo de iniciación	Cem. Aluminoso	>55años	55-35años	35-15años	<15años
	Cem. Portland	≥70años	70-50años	50-30años	<30años
Contenido en cloruros	H.Armado	≤0.05%	0.05%-0.09%	0.09%-0.12%	>0.12%
	H. Pretensado	≤0.03%	0.03-0.06%	0.06-0.1%	>0.10%

PARÁMETRO	CALIFICACIÓN N _E			
	DESPRECIABLE 1	BAJO 3	MODERADO 5	ALTO -
Clases de exposición	X0, XC1	XC2, XC3	XC4, XD3, XS1	No se considera

La suma de ellos y, por tanto, el valor total de IC es:

$$IC = 6+6+5 = 17$$

Y la calificación del daño será:

IC	3-5	6-10	11-15	16-20
Calificación	DESPRECIABLE	BAJO	MODERADO	ALTO

Finalmente la propuesta de actuación en función de la calificación será:

CALIFICACIÓN DEL DAÑO	ACTUACIÓN
DESPRECIABLE	Inspección en plazo superior a 10 años.
BAJO	Inspección en plazo inferior a 10 años.
MODERADO	Inspección y Evaluación Complementaria a corto plazo.
ALTO	Refuerzo o apuntalamiento inmediato.

ESTUDIO DE VIGA. IEC.

- OBTENCIÓN DE DATOS COMPLEMENTARIOS:

Se tiene toda la información requerida incluida la necesaria específica de la complementaria en los datos del caso.

- RECONOCIMIENTO VISUAL COMPLEMENTARIO:

Las unidades de inspección y la zona del elemento son las definidas en el caso anterior.

La exposición ambiental también es la misma.

Al observarse fisuras transversales en el centro de la cara inferior la **Calificación del Daño es de Nivel Alto**.

- REALIZACIÓN DE PRUEBAS Y ENSAYOS EN CADA ZONA:

En este caso el **número de muestras mínimo es 9**. Se han realizado las mismas.

Las características requeridas han obtenido los siguientes valores:

Característica	Valor obtenido
Ancho de fisuras	1 mm
Capa de corrosión	Capa fina
Profundidad de carbonatación	3,18cm
Espesor de recubrimiento	2,5 cm
Tipo de Cemento	Portland
Tipo de hormigón	Armado
Pérdida de sección	<1%
Cloruros	0.021%
Exposición Ambiental	XS1
Carbonatación relativa	1,27
Periodo de iniciación	31

Característica	Valor obtenido
Geometría del elemento	45x32cm
Detalle del armado	4Ø 16mm
Área de la armadura (A_s)	804,24 mm ²
Resistencia a compresión	15 MPa
Límite elástico del acero	220 N/mm ²
Peso Propio	4,50 KN/m ²
Sobrecarga de Uso	2,00 KN/m ²
Canto útil d (h-r)	425mm

- OBTENCIÓN DE IC:

Se realiza el mismo procedimiento que para la vigueta:

PARÁMETROS	CALIFICACIÓN N _D			
	DESPRECIABLE 1	BAJO 3	MODERADO 6	ALTO 9
Ancho de fisuras o desprendimiento en lasjas	Sin fisuras	<0.3mm	≥0.3mm	Desprendimiento en lasjas
Importancia de la corrosión	Sin corrosión	Ligera: óxido superficial	Media: óxido en capa fina	Alta: óxido en capa gruesa
Pérdida de sección	≤1%	1%-5%	>5%-10%	>10%

PARÁMETROS		CALIFICACIÓN N _F			
		DESPRECIABLE 1	BAJO 2	MODERADO 3	ALTO 6
Periodo de iniciación	Cem. Aluminoso	>55años	55-35años	35-15años	<15años
	Cem. Portland	≥70años	70-50años	50-30años	<30años
Contenido en cloruros	H.Armado	≤0.05%	0.05%-0.09%	0.09%-0.12%	>0.12%
	H. Pretensado	≤0.03%	0.03-0.06%	0.06-0.1%	>0.10%

PARÁMETRO	CALIFICACIÓN N _E			
	DESPRECIABLE 1	BAJO 3	MODERADO 5	ALTO -
Clases de exposición	X0, XC1	XC2, XC3	XC4, XD3, XS1	No se considera

$$IC = 6+3+5 = 14$$

IC	3-5	6-10	11-15	16-20
Calificación	DESPRECIABLE	BAJO	MODERADO	ALTO

- OBTENCIÓN DE IE:

Como se trata de un elemento sometido a flexión el margen de seguridad es el mínimo valor entre el margen a cortante y el margen de flexión.

El momento característico M_k vuelve a ser el mismo que en los casos anteriores.

M_u es el momento último, obtenido mediante la expresión simplificada:

$$M_U = A_s * f_{yd} * \left(d - \frac{x}{2}\right) = 804,24 * \frac{220}{1,15} * \left(425 - \frac{37,7}{2}\right) = 62.486.629,14 \text{ Nmm} = 62,49 \text{ KNm}$$

$$\text{Así IE} = \frac{62,49}{42,71} = 1,46$$

Por otro lado, el valor de cortante más desfavorable es $V_d = 133,00 \text{ KN}$ y por tanto $V_k = 95 \text{ KN}$

Los valores de V_u se obtienen de los calculados para el Manual COAG, ya que la Guía IVE no presenta ecuación simplificada.

$$V_{U1} = 0,30 * f_{cd} * b * d = 0,30 * \frac{15}{1,50} * 320 * 425 = 408.000 \text{ N} = 408 \text{ KN}$$

$$V_{U2} = 46,79 + 14,08 = 60,87 \text{ KN}$$

$$\text{Así IE} = \frac{60,87}{95,00} = 0,64$$

El mínimo IE es el del esfuerzo cortante $IE = 0,64$. Con este valor obtenemos la calificación de:

CALIFICACIÓN	ADECUADO	SUFICIENTE	INSUFICIENTE
IE	IE > 2.0	1.4 < IE < 2.0	IE < 1.4

- ELECCIÓN DEL OBJETIVO DE INTERVENCIÓN:

IE	IC			
	DESPRECIABLE 3-5	BAJO 6-10	MODERADO 11-15	ALTO 16-20
INSUFICIENTE <1.4	Refuerzo	Refuerzo	Sustitución	Sustitución
SUFICIENTE 1.4 -2.0	No se necesita intervención	Reparación	Refuerzo	Sustitución
ADECUADO >2.0	No se necesita intervención	Protección	Reparación	Reparación

No se tiene en cuenta la influencia de factores ya que unos son favorables y otros desfavorables. Teniendo en cuenta el Objetivo Inicial y el Nivel de Daño se propone el siguiente Objetivo Final

RECONOCIMIENTO VISUAL COMPLEMENTARIO			OBJETIVOS INICIALES IEC			
ORIGEN	CAUSA PROBABLE	CALIFIC.	PROTECCIÓN	REPARACIÓN	REFUERZO	SUSTITUCIÓN
Mecánico	Falta de resistencia	Alto			Incremento de la capacidad portante	Sust. física. Sust. funcional

Y los sistemas de intervención sugeridos son: Adhesión de perfiles sin eliminación del elemento estructural existente, en caso de ser una sustitución funcional o Eliminación y reemplazo del elemento estructural existente en caso de ser una sustitución física.

5. COMPARATIVA ENTRE MÉTODOS.

Una vez conocidos y examinados a conciencia todos los manuales es necesario realizar una comparativa entre ellos.

Se va a realizar una doble comparación, una en cuanto a los procedimientos que siguen cada uno de ellos y otra relacionada con los resultados que nos proporciona cada uno para un mismo caso, el caso que hemos aplicado anteriormente.

5.1. COMPARATIVA DE PROCEDIMIENTOS.

En primer lugar cabe destacar que los cuatro métodos establecen fases claras del proceso. Estas fases son similares entre ellas y pueden correlacionarse en función del cumplimiento de objetivos de cada una.

Se puede establecer la siguiente comparación:

Manual COAG	Manual COAB	Manual CONTECVET (Método Simplificado)	Guías IVE (IEP e IEC)	FASES COMPARACIÓN
INSPECCIÓN VISUAL	PREDIAGNOSIS	INSPECCIÓN	OBTENCIÓN DATOS PREVIOS	INSPECCIÓN
ENSAYOS	DIAGNOSIS		RECONOCIMIENTO VISUAL	
ANÁLISIS DE LA PATOLOGÍA		DIAGNOSIS	DIAGNOSIS	PRUEBAS Y ENSAYOS
CALIFICACIÓN DE LA GRAVEDAD	DIAGNÓSTICO	PROGNOSIS	OBTENCIÓN DE ÍNDICES AGRUPACIÓN DE LOTES	EVALUACIÓN
			OBJETIVO FINAL Y SISTEMA DE INTERVENCIÓN	DIAGNÓSTICO

Para llevar a cabo esta comparación se han establecido cuatro fases generalistas del proceso de evaluación que a continuación analizaremos detenidamente.

I. INSPECCIÓN.

En esta primera fase todos coinciden en que el objetivo principal es recabar la mayor información posible sobre el edificio y los elementos a analizar, pero se contemplan también otros objetivos en algunas de ellas. De esta manera se relaciona lo siguiente:

OBJETIVOS	MANUAL COAG	MANUAL COAB	MANUAL CONTECVET	GUÍAS IVE
Información Previa	Sí	Sí	Sí	Sí
Determinar características y tipologías	Sí	Sí	Sí	Sí
División en zonas	Sí	Sí	No	Sí
Detectar lesiones	Sí	Sí	Sí	Sí
Plan de Ensayos	Sí	Sí	Sí	Sí
Considerar Intervención Inmediata	Sí	Sí	No	No

II. ENSAYOS

Cada uno de ellos establece los parámetros que son necesarios analizar y propone (nunca obliga) métodos de obtención y posibles herramientas a utilizar.

Los parámetros o características que buscan son similares en todos los casos, sin embargo, algunos manuales dejan más libertad o concretan menos en el modo de obtención y de realización del proceso que otros.

De este modo, tanto en el Manual COAG como en el Manual COAB o el CONTECVET se limitan a nombrar y describir brevemente los parámetros que se necesitan conocer y a comentar y explicar en algunos casos el método de realización de las distintas técnicas o pruebas que se deben realizar para obtener estos datos.

En la guía IVE, tanto en la Guía Preliminar como en la Complementaria se exige un número mínimo de muestras que se han de tomar en función de la envergadura del elemento a analizar.

También cabe destacar que en todos los manuales se piden características relacionadas con el proceso de corrosión y con la tipología estructural del elemento y sus características mecánicas a excepción de la Guía IVE en su Inspección Preliminar, que únicamente se centra en lo relacionado con la corrosión.

Todos ellos contemplan ensayos destructivos y no destructivos, siendo la Guía IVE la que mayor cantidad de los segundos propone.

III. EVALUACIÓN.

Sin duda es la fase del proceso más diversa y la que determina la fiabilidad de unos u otros procesos, en definitiva, es la que nos muestra la calidad del método.

En primer lugar, se pueden clasificar los procesos en función de los parámetros que tienen en cuenta.

FACTORES	Manual COAG	Manual COAB	Manual CONTECVET	GUÍA IEP	GUÍA IEC
Capacidad Portante	Sí	Sí	Sí	No	Sí
Durabilidad	No	Sí	Sí	Sí	Sí

También clasificaremos los métodos en función de qué elementos pueden evaluar:

Elementos Estructurales	Manual COAG	Manual COAB	Manual CONTECVET	Guía IEP	Guía IEC
Forjados/Viguetas	Sí	Sí	No	Sí	Sí
Vigas o Jácenas	Sí	No	Sí	No	Sí
Pilares	Sí	No	Sí	No	Sí

El Manual COAG es el único que no tiene en cuenta la durabilidad o la corrosión de los elementos, únicamente se tiene en cuenta en la fase de inspección pero no se establece ningún criterio de evaluación según este parámetro, a excepción de que el técnico considere en la inspección previa que ese nivel de corrosión requiere una intervención urgente, decisión, en todo caso, subjetiva, que no se tiene en cuenta para este trabajo y por lo tanto este podría ser un motivo para que considerásemos este proceso menos completo.

A excepción de este caso el resto de Manuales tienen en cuenta los mismos factores, sin embargo, no siguen los mismos procesos de evaluación.

- PARA LA CAPACIDAD PORTANTE:

MÉTODO	Semi-probabilista	Semi-empírico
Manual	Manual COAG Guía IEC Manual CONTECVET	Manual CONTECVET Manual COAB

- **Proceso semi-probabilista:**

En todos los casos consiste en obtener un coeficiente de seguridad. Teniendo en cuenta las solicitaciones y las acciones sobre la estructura y sosteniendo que, para un adecuado estado de la misma el valor de las acciones debe ser menor que el de las solicitaciones.

Se utiliza la teoría de los Estados Límites Últimos.

El Manual COAG aplica esta teoría directamente, obteniendo los Esfuerzos Últimos de la Normativa de diseño actual y relacionándolo con los valores característicos o de Servicio, que resultan ser, como se ha comentado durante la explicación de los métodos y en la aplicación al caso, los valores de cálculo del proyecto sin mayorar, es decir, sin tener en cuenta los coeficientes de mayoración de las cargas.

La Guía IVE también establece esta teoría para su evaluación, pero con modificaciones, introduciendo expresiones simplificadas para la obtención de los Esfuerzos Últimos, que en ocasiones pueden resultar complejos de hallar en el caso del peritaje por no haber podido obtener los datos necesarios.

Por último, el Manual CONTECVET introduce este proceso como simple parámetro para “corregir” el resultado obtenido mediante el método semi-empírico, que es el método principal que desarrolla.

- **Proceso semi-empírico:**

Tanto el Manual CONTECVET como el Manual COAB plantean este tipo de proceso, aunque sus criterios son completamente distintos.

En primer lugar porque están orientados a evaluar elementos diferentes.

El Manual COAB, como se ha visto antes en la clasificación solamente permite inspeccionar forjados y los parámetros que tiene en cuenta son la calidad y buena disposición de todos los elementos del mismo, no solamente del elemento estructural y las características de los elementos metálicos.

En el Manual CONTECVET, mediante su proceso empírico solamente se pueden evaluar jácenas y pilares.

El método que utiliza proporciona valores teniendo en cuenta la disposición y cuantía de las armaduras y la gravedad del posible fallo, sin tener en cuenta las características del hormigón, únicamente, como se ha comentado previamente, utilizando el margen de seguridad como mero rasante en la determinación del grado de daño.

- **PARA LA DURABILIDAD:**

MÉTODO	Determinista	Semi-empírico
Manual	Manual COAB	Manual CONTECVET Guías IVE

- **Proceso Determinista:**

El proceso se realiza obteniendo parámetros de los ensayos y relacionándolos mediante fórmulas constatadas. El procedimiento es claro y no da lugar a ningún tipo de confusión, sin embargo, en este Manual COAB en concreto no se especifica una clasificación en función de este parámetro, restándole validez al proceso.

- **Proceso-Empírico:**

En este caso, los métodos que llevan a cabo los dos manuales (Manual CONTECVET y Guías IVE) se asemejan considerablemente.

En cada guía se establecen unos factores o indicadores de distintas valoraciones, pero los parámetros que tienen en cuenta, aunque clasificados de forma diferente, son, en esencia, los mismos.

En cuanto a los elementos a evaluar, la Guía IEC es la única que analiza directamente todos los elementos estructurales, sin embargo, ya que el Manual COAG solamente utiliza la teoría de los Estados Últimos permite extrapolar los resultados a todos los elementos, mediante el empleo de las fórmulas pertinentes para cada elementos y aplicando el coeficiente de seguridad.

IV. DIAGNÓSTICO.

Por último se debe comparar la clasificación o valoración que establecen los manuales en función de los datos y valores obtenidos en las distintas evaluaciones y la objetividad o el grado de determinación que requieren.

Como clasificación inicial se tiene en cuenta si el diagnóstico indica el proceso o tipo de intervención que se debe realizar o simplemente el periodo de tiempo en el que se debe actuar.

DIAGNÓSTICO	Manual COAG	Manual COAB	Manual CONTECVET	Guías IVE
Tipo de Intervención	Sí	Sí	No	Sí (Sólo IEC)
Periodo de actuación	Sí	No*	Sí	Sí (Sólo IEP)
Gravedad de lesión	Sí	Sí	Sí	Sí

*Se considera que el Manual COAB no analiza los periodos de actuación ya que solo se tiene en cuenta en la evaluación estructural y no en el diagnóstico final.

Independientemente del tipo de diagnóstico que proporcionan las guías, aunque se considera más completo el hecho de determinar el tipo de intervención que se debe llevar a cabo en relación a la gravedad o no del elemento estructural además de indicarse en qué plazo de tiempo de debe actuar, también se ha de tener en cuenta el grado de objetividad de estas clasificaciones y la complejidad del proceso.

En relación a estos aspectos cabe destacar lo siguiente de cada una de las guías o manuales:

- Manual COAG:

El procedimiento no es complejo y la clasificación es clara y objetiva en función del parámetro por el que se rige, pero se requieren conocimientos de cálculo estructural y experiencia en el campo de la inspección.

- Manual COAB:

El procedimiento no es complejo, no se necesitan demasiados datos para poder establecer una evaluación completa y se referencian los cálculos que han de realizarse, sin embargo, la clasificación tanto estructural como de durabilidad es poco concreta y no existe una relación clara entre los resultados obtenidos y el tipo concreto de intervención a realizar si no que queda en manos de la estimación que realice el técnico, aunque sí sirve de gran orientación.

- Manual CONTECVET:

El procedimiento es complejo para la información que finalmente proporciona, se necesita realizar muchas pruebas y obtener muchos parámetros para, finalmente obtener simplemente el periodo de actuación sin ninguna indicación del tipo de intervención que se puede o debe realizar.

A nivel de orientación para la toma de decisión del técnico sí es útil ya permite conocer la gravedad del estado del elemento o estructura.

- Guías IVE:

El procedimiento es más complejo que los dos primeros y similar al anterior, sin embargo, en relación a la precisión de diagnóstico que ofrece es aceptable, ya que, prácticamente con los mismos parámetros que se utilizan en la evaluación del Manual CONTECVET se obtiene un tipo intervención concisa y muy concreta teniendo en cuenta no sólo el estado de gravedad del elemento si no el origen y causa de la patología que se ha producido, incluso referenciando, para cada caso, el sistema de intervención adecuado.

5.2. COMPARATIVA DE RESULTADOS.

Finalmente, compararemos los resultados obtenidos en las aplicaciones al caso, determinando, de este modo, cuáles de ellos son los más fiables, restrictivos y/o concretos a la hora de evaluar un elemento estructural y diagnosticar el proceso de intervención necesario.

Ya que, como ya se ha observado, no todas las guías examinan todos los elementos estructurales se han analizado dos elementos a flexión distintos:

- **RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE FORJADO:**

En este caso los manuales que se comparan son: Manual COAG, Manual COAB y Guía IEP.

Los resultados obtenidos han sido los siguientes:

DIAGNÓSTICO	Manual COAG	Manual COAB	Guías IVE (IEP)
Tipo de Intervención	Demolición Inmediata	Reparación o refuerzo	Refuerzo o apuntalamiento
Periodo de actuación	Intervención Inmediata	Inspección en 2 años para capacidad portante.	Inmediato
Gravedad de lesión/Cal.de daño	Muy Grave	Limitada/Dudosa	Alto

Tanto para el Manual COAG como para la GUÍA IVE la actuación debe ser inmediata, a pesar de que uno de ellos solo tiene en cuenta la capacidad portante y el otro la durabilidad de la pieza.

En cambio, para el Manual COAB, a pesar de tener en cuenta los dos factores, hecho que podría suponer un examen más exhaustivo y por tanto un juicio más restrictivo, establece que, en ambos casos el elemento se encuentra en el umbral entre el buen estado y el malo, indicando que la gravedad de daño es mínima.

- **RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE VIGA:**

Se comparan en este caso el Manual COAG de nuevo, el Manual CONTECVET y las Guías IVE al completo.

DIAGNÓSTICO	Manual COAG	Manual CONTECVET	Guías IVE
Tipo de Intervención	Demolición Inmediata	Reparación Urgente	Sustitución. Física o Funcional
Periodo de actuación	Intervención Inmediata	Entre 0 y 2 años	-
Gravedad de lesión/Cal.de daño	Muy Grave	Muy severo	Alto

En este caso todos los manuales indican que el nivel de gravedad es alto o muy alto, y el Manual COAG coincide con la guía IVE en que se debe retirar el elemento, dándonos la Guía IVE la opción de reforzarlo y restarle su importancia estructural sin necesidad de demolerlo, opción única en el caso del Manual COAG, mientras que el Manual CONTECVET a pesar de considerar el elemento en estado muy grave y necesitar una reparación (no se especifica cual) de carácter urgente, permite la actuación en un periodo de tiempo de dos años.

Exceptuando esta salvedad parece que los tres procedimientos nos ofrecen un resultado similar. Si bien es cierto que todos ellos se guían mediante el mismo proceso semi-probabilístico no es el único parámetro que se tiene en cuenta en las Guía IVE ni en el Manual CONTECVET y ni siquiera entre ellos se le da la misma importancia al cálculo del coeficiente o margen de seguridad.

Atendiendo a razonamientos lógicos, ya que cada elemento ha sido evaluado mediante tres metodologías y en ambos casos dos de ellas coinciden en el mismo resultado, ese es el que se debiera tener en cuenta a la hora de realizar una verdadera intervención.

En el caso del forjado quedaría claro que su estado es muy grave y se requiere la actuación inmediata mediante demolición inmediata o apuntalamiento provisional y futuro refuerzo.

En el caso de la viga se consideraría que su estado también es grave y se requiere una demolición o sustitución, preferiblemente en un periodo corto de tiempo.

Como apunte cabe destacar que, en el ejercicio real, el forjado ha sido demolido y sustituido, por lo tanto coincidiría con el resultado elegido y la viga no se ha sustituido físicamente, pero se ha reforzado a flexión y a cortante y se han añadido más soportes o puntos de apoyo, por lo tanto, se podría considerar casi como una sustitución funcional y un refuerzo exhaustivo.

6. ELECCIÓN DEL MÉTODO MÁS ADECUADO

Teniendo en cuenta las comparaciones anteriores así como el desarrollo de todos los procedimientos y los resultados obtenidos se llega a las siguientes conclusiones:

El procedimiento que propone el Manual COAG, a pesar de ser antiguo y no ser muy concreto en cuanto al desarrollo de las fases proporciona buenos resultados y no requiere un proceso excesivamente complejo si conoces los fundamentos del cálculo estructural, sin embargo, al obviar los efectos que la corrosión puede provocar sobre la estructura resulta incompleto, pero se podría tener en cuenta para una Primera Evaluación, a modo de Método Simplificado o en el caso de que, tras la inspección visual se considere que el efecto de la corrosión sobre el elemento no es significativo para provocar su fallo.

También el Manual COAB se podría utilizar como Metodología Simplificada, debido a la facilidad de ejecución del procedimiento que propone si estableciera de manera clara una clasificación del estado de gravedad de estructura y niveles de corrosión en función de los parámetros que analiza para poder determinar una solución más conveniente y concreta en cada caso, ya que, puede ser que los métodos sean fiables, pero al no establecer una jerarquía de soluciones en función de los resultados clara da lugar a una interpretación posiblemente errónea.

Sin embargo, resulta más conveniente establecer como Método Simplificado el proceso que se lleva a cabo en la Guía de Inspección Preliminar, ya que, al tener en cuenta solo los aspectos corrosivos no precisa de tanta información como en el resto de casos, y el resultado que proporciona es acertado y fiable.

Suponiendo una Inspección y Evaluación intensa y completa el método más adecuado para ejecutar es el que proporcionan las Guías IVE, estableciendo pautas desde las primeras fases y proporcionando información muchos más concreta que en otros casos obteniendo los mismos parámetros.

Para ser aún más preciso debería añadir también una estipulación del periodo de tiempo en que debe o puede realizarse esa intervención propuesta.

Por lo tanto, y ya que utilizan el mismo método probabilista y se obtiene de sus cálculos objetivos o resultados similares, se podría añadir la calificación que se hace en el Manual COAG del tiempo de actuación en las Guías IVE.

También el Manual CONTECVET resultaría un método muy completo y definido si afinase los resultados de la prognosis, estableciendo, aunque fuese a modo de recomendación el tipo de intervención que se debe llevar a cabo.

Concluyendo, el método más adecuado no es por completo ninguno de los examinados, pero haciendo una combinación de ellos se podría perfeccionar aún más el proceso de la evaluación estructural de forma fundamentada.

Las combinaciones que mejor resultarían serían para un método rápido y sencillo el procedimiento de evaluación del Manual COAB, que tiene en cuenta la durabilidad y la seguridad estructural sin necesidad de realizar numerosas pruebas ni cálculos con un grado de determinación para todas las fases como el de la Guía Preliminar y con un procedimiento claro y sencillo para la determinación de resultados como el que resuelve el Manual COAG.

Para un método detallado o exhaustivo las Guías IVE proporcionan toda la información necesaria para llevar a cabo una buena inspección y evaluación y establecer un proceso de intervención conveniente y proporcional al daño sufrido por los elementos con la única inclusión de una clasificación de temporalidad como la que sostiene el Manual COAG o seguir lo indicado en el Método CONTECVET estableciéndose unos valores de intervención como los que proponen las Guías IVE.

7. CONCLUSIONES GENERALES

Como se comentaba al inicio del presente estudio resulta necesario para el ejercicio del peritaje, la inspección o la evaluación de elementos existentes un apoyo más o menos objetivo que facilite la labor del técnico que lo realiza, ya que es un trabajo complejo, empezando por la dificultad, en muchos casos, de no poder obtener suficientes datos ni medios para obtenerlos, siguiendo por la desinformación acerca de las causas u origen de las patologías apreciables e incluso no siendo, en muchos casos, posible detectar a simple vista los defectos que contienen los elementos.

Por todo ello resulta muy factible errar en el diagnóstico mediante medios únicamente visuales y confiando en el buen entender del técnico.

Tras el estudio y entendimiento que se ha llevado a cabo de las distintas guías se concluye que, sea cual sea el sistema o procedimiento que se quiere llevar a cabo el principal objetivo y sin duda más relevante es el de conseguir la máxima información posible ya sea de todo el edificio y su historia y uso, de las características de los materiales de que se compone la estructura, del funcionamiento de la misma e incluso del propósito de futura utilización que se pretende.

Queda claro que, aunque se pretenda realizar un proceso sencillo, es siempre necesaria la toma de muestras y el desarrollo de ensayos y pruebas sobre los elementos para poder llegar a una conclusión coherente del estado de las estructuras, por lo que, no es posible, en ningún caso, proceder de manera realmente inmediata.

Se aprecia también que, los dos factores fundamentales a la hora de conocer el estado de un elemento estructural de hormigón armado son los procesos de corrosión en las armaduras y la pérdida de capacidad de resistencia frente a las solicitaciones.

Teniendo en cuenta los procesos estudiados se observa que, independientemente del tipo de método que se vaya a seguir, los parámetros que se necesitan conocer son siempre similares y las técnicas para conocerlos no han variado significativamente en todos estos años, ya que alguno de los manuales data del año 2.000 y hoy en día siguen utilizándose los mismos métodos, inclinándose, cada vez más a la utilización de métodos no-destructivos que no supongan un agravante para el estado de la estructura como pueden ser las pruebas de carga e interfieran lo mínimo en la estructura y en el uso normal de la misma y que, a su vez, nos proporcione información que no sea apreciable visualmente.

Según lo observado, los métodos probabilistas proporcionan una información y unos objetivos adecuados y fiables tanto de la gravedad de afección de los elementos como de los procesos de intervención que se requieren para devolver al conjunto de la estructura a un buen y seguro estado. Basándose todos ellos en el establecimiento de un valor de seguridad que depende de las acciones a las que se ve sometida la estructura y las solicitaciones que surgen. Método que se conoce desde hace décadas y que es utilizado a nivel global, con pequeñas variaciones, por todas las normativas vigentes u organizaciones internacionales dedicadas al estudio del hormigón como son el CEB, el FIP o el ACI y los Eurocódigos.

Los procedimientos empíricos o semi-empíricos resultan, a simple vista, convenientes, ya que clasifican todos los parámetros importantes en escalas de valores lo que supone un conocimiento bastante amplio de los elementos que afectan a la estructura y resulta también fácilmente entendible y sencillo de realizar, lo que supone una gran ayuda para el técnico, sin embargo, a la hora de diagnosticar no terminan de acertar en sus predicciones, por lo que, se concluye que es un buen método de evaluación pero que debe investigarse y perfeccionarse aún más y, en cualquier caso, contrastarse con algún método probabilista y/o analítico.

Concretando en las guías o manuales estudiados se observa que, a excepción de las Guías IVE, todas ellas son muy mejorables en el sentido de establecer criterios de actuación y seccionar y pautar los pasos a seguir en cada fase de la evaluación.

Considerando que la evaluación y la intervención es un campo cada vez más recurrente resultan inapropiadas las pocas referencias e innovaciones que existen hoy en día, siendo, en cualquier caso una tarea difícil de resolver y requiriéndose un alto contenido de conocimiento y experiencia en el tema así como constituyendo una gran cantidad de tiempo y esfuerzo realizar todo el proceso necesario para poder llegar a una solución más o menos clara.

8. BIBLIOGRAFÍA

R. Bellmunt, X. Casanovas, M. Fernández Cánovas, C. Díaz, P. Helene, J. Rosell, J.R. Rosell, E. Vázquez. **“Manual de Diagnóstico e Intervención en Estructuras de Hormigón Armado”**. Col·legi d’Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona. Barcelona 2000.

R. Bellmunt, J.M. Gensecà, V. Gibert. **“Guía d’actuacions en sostres existents de biguetes de formigó armat o precomprimit”**. Institut de Tecnologia de Construcció de Catalunya. Octubre 1996.

J.Aragón Fitera. **“Inspección Técnica, Diagnóstico y Reparación en Forjados de Hormigón Armado”**. Comisión de Asesoramiento Tecnológico del Colegio Oficial de Arquitectos de Galicia. Noviembre 2004.

F. Cosme, B. Serrano, S.García-Prieto, A. Osorio, J.J. Palencia. **“Guía para la Inspección y Evaluación Preliminar de Estructuras de Hormigón en Edificios Existentes”**. Serie Guías de la Calidad. Instituto Valenciano de la Edificación. Mayo 2010. Documento Reconocido DRB 05/09.

F. Cosme, B. Serrano, S.García-Prieto, A. Osorio, J.J. Palencia. **“Guía para la Inspección y Evaluación Complementaria de Estructuras de Hormigón en Edificios Existentes”**. Serie Guías de la Calidad. Instituto Valenciano de la Edificación. Mayo 2010. Documento Reconocido DRB 05/09.

B. Serrano, S.García-Prieto, A. Osorio, J.J. Palencia, J.Yuste, J. Monfort, L. Ortega, M. García. **“Guía de Intervención en Estructuras de Hormigón en Edificios Existentes”**. Serie Guías de la Calidad. Instituto Valenciano de la Edificación. Septiembre 2008. Documento Reconocido DRB 05/09.

J. Rodríguez, J. Aragoncillo, C. Andrade, D. Izquierdo. **“CONTECVET. A validated Users Manual for assessing the residual service life of concrete structures. Manual for assessing corrosion-affected concrete structures”**. Instituto de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC) y Geocisa. Proyecto de Innovación CONTECVET –IN 309021. Madrid 2000.

Comité Euro-Internacional du Béton. General Task Group 12. **“Assessment of concrete structures and design procedures for upgrading (redesign)”**. Contribution à la 23 session plèniere du C.E.B. Octubre 1982. Bulletin d’Information 162. Agosto 1983.

Grupo Español del Hormigón (GEHO). **“Reparación y Refuerzo de Estructuras de Hormigón. Guía FIP de Buena Práctica”**. Recomendaciones y Manuales Técnicos. Estructuras y Edificación. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid. Boletín GEHO nº14. Agosto 1994.

Comité ACI 318. **“Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-08) and Commentary”**. American Concrete Institute. Enero 2008.

A.del Río Bueno. **“Patología, Reparación y Refuerzo de Estructuras de Hormigón Armado de Edificación”**. E.T.S. Arquitectura (UPM). Madrid 2008.

Y.F. Vargas. **“Análisis estructural estático y dinámico probabilista de edificios de hormigón armado. Aspectos metodológicos y aplicaciones a la evaluación del daño”**. Tesis Doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya. Mayo 2013.

Grupo de Trabajo 4/5 ACHE. **“Evaluación de Estructuras Existentes Mediante Métodos Semiprobabilistas”**. Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural. Julio 2003.

J. Roldán. **“Evaluación de Sobrecargas de Uso de Vivienda en Estructuras de Edificación”**. Tesis Doctoral, Universidad Politècnica de Valencia. Marzo 2002.

Instrucción de Hormigón Estructural EHE 08. Ministerio de Fomento. Gobierno de España. Madrid 2008.

K.J. Stuardo. *“Metodología de Evaluación Estructural de Elementos de Hormigón Armado Existentes”*. Proyecto Fin de Carrera, Universidad Católica de la Santísima Concepción. Chile 2008.

M.C. Veses. *“Análisis comparativo de las diferentes guías de Inspección e Intervención de Estructuras”*. Proyecto Fin de Máster, Universidad Politécnica de Valencia. Valencia 2010.

L. Celorrio. *“Probabilistic Methods of Structural Safety in the Spanish Technical Code of Building”*. XV Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos. Huesca, Julio 2011.

F. Morán. *“Estimación de la Seguridad Residual en Estructuras de Hormigón con Problemas Patológicos”*. Artículo. Informes de la Construcción nº434. Instituto Eduardo Torroja. Diciembre 1994.

J.L. Ramírez, J.M. Bárcena, J.M. Feijoo. *“Métodos de Refuerzo y su comportamiento en Vigas de Hormigón Armado de Edificación”*. Artículo. Informes de la Construcción nº305. Diciembre 1978.

D. Izquierdo. *“Bases de Diseño para un Tratamiento Probabilista de los Procesos de Corrosión de la Armadura en el Hormigón”*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid. Madrid 2002.

Jornadas Internacionales de Investigación en Construcción. Vivienda: pasado, presente y futuro. Instituto de las Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. Noviembre 2013.

J.D. Benjamín, S.A. Lockhart. *“Metodología para la Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de Edificaciones de Hormigón Armado Existente”*. Revista CIENCIA Y SOCIEDAD nº2. Junio 2011.

E. Gil, J.M. Vercher, A.Mas. *“Evaluación del Índice de Seguridad Real en las Construcciones”*. Trabajo de Investigación, Universidad Politécnica de Valencia.

J.M. Porto. *“Técnicas de Investigación, Dictamen e Intervención en las Estructuras de Hormigón”*. Proyecto Fin de Carrera, Universidad Politécnica de Valencia. Valencia 2005.

S. Mariotti. *“Refuerzo Sísmico de un Edificio Existente”*. Proyecto Fin de Máster, Universidad Politécnica de Valencia. Valencia 2013.

A.Arteaga. *“Tendencias en la Fiabilidad Estructural”*. IX Congreso Nacional de Confiabilidad. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. Noviembre 2007.

J. Benlloch. *“Intervención en Estructuras”*. Apuntes. Máster de Edificación. Universidad Politécnica de Valencia.

F.Fargueta. *“Materiales Estructurales y Constructivos”*. Apuntes. Máster de Edificación. Universidad Politécnica de Valencia.