

LA TEORÍA, LA NORMATIVA Y LA OBRA DE REHABILITACIÓN DE EDIFICIOS CONTEMPORÁNEOS. EXPERIENCIAS EN REPARACION DE EDIFICIOS EN LA COSTA DE ANDALUCIA

BARRIOS PADURA, Angela

Universidad de Sevilla Departamento de Construcciones Arquitectónicas I de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla, Avda. Reina Mercedes 41012 Sevilla, España.

Telf./Fax: 954556591, Email: abarrios@us.es

RESUMEN

Las medidas para garantizar la durabilidad de las estructuras de Hormigón Armado en las Instrucciones españolas, desde la primera aprobada el 3 de Febrero de 1939 y revisada en 1944, hasta la recién aprobada en 2008, la EHE-08, han evolucionado notablemente a lo largo de la historia, desde breves reseñas en los primeros textos hasta constituir un capítulo completo con prescripciones de carácter obligatorio en las dos últimas publicadas en los años 1998 y 2008.

Estos setenta años han sido tiempo suficiente para que la investigación y la ciencia alcancen cotas de desarrollo impensables a principio del siglo XX, pero también debiera haber sido para que la experiencia en construir Estructuras de Hormigón Armado sea suficientemente amplia como para haber aprendido a "fabricar" un material de alta tecnología, con elevadas prestaciones, y básicamente, durable: una estructura "... capaz de soportar, durante la vida útil para la que ha sido proyectada, las condiciones físicas y químicas a las que está expuesta, y que podrían llegar a provocar su degradación como consecuencia de efectos diferentes a las cargas y sollicitaciones consideradas en el análisis estructural", y no ha sido así.

La experiencia demuestra que nuestros modernos edificios han precisado de obras de reparación y refuerzo tras menos de 50 años de vida útil, mucho antes que los edificios de fábrica de ladrillo o piedra que forman parte de nuestro patrimonio histórico artístico, ya que en las obras de Hormigón armado la agresividad ambiental, la condiciones climáticas de la puesta en obra, así como la preparación técnica del operario y su buen hacer, son factores fundamentales en la calidad final del material y la protección de las armaduras frente a la corrosión. La EHE-08 así lo reconoce, y establece por primera vez una serie de prescripciones o preceptos para garantizar la durabilidad de las estructuras 50 ó 100 años, en función del tipo de edificio y su "monumentalidad".

Otra cuestión importante que la nueva Instrucción considera y que ha tenido muy buena acogida entre proyectistas, empresarios y profesores, es el Mantenimiento de los edificios por parte de los usuarios, ocupando un capítulo completo, estimando que con mínimas actuaciones de tipo preventivo, se puede retrasar la aparición de lesiones en la estructura.

En esta ponencia realizaré un recorrido por la Normativa española del Hormigón estructural desde los años 60, en lo relativo a la exposición a ambientes agresivos y la durabilidad, y analizaré algunos casos de edificios situados en la costa de Andalucía, en cuyos proyectos, obras y análisis o estudios previos he tenido la suerte de participar.

1.- ANTECEDENTES

La primera instrucción del hormigón en España se aprueba el 3 de Febrero de 1939, y se revisa en 1944 dando lugar a la denominada EH 44. En ambos documentos se tratan

exclusivamente las obras de Hormigón Armado o en Masa, y en ambas las citas acerca de la durabilidad son escasas, limitándose en el Artículo 22 titulado "Protección a los agentes químicos y acciones mecánicas", a expresar: "Las obras de hormigón que estén en contacto con aguas o sustancias que por su composición química pueden atacarle, se protegerán superficialmente a tal efecto por enlucidos, pinturas, o si fuera necesario revestimientos con materiales que lo aislen de este ataque con toda eficacia."

En el año 1961 el Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción publica la "Instrucción HA-61 especial para Estructuras de Hormigón Armado", precursora de la instrucción EH 68, que consideraré en este artículo como texto inicial de referencia a partir del cual realizo el análisis y que se publica en paralelo a la constitución de la Comisión permanente del Hormigón, formada por miembros pertenecientes a diferentes ministerios del Gobierno, Universidades, y el Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción, con el objeto de revisar las instrucciones publicadas y elaborar los nuevos proyectos de normas en base a los avances tecnológicos resultados de la investigación.

A lo largo de los años, y desde la revisión del texto del año 44 y publicación de la HA-61, la revisión del texto normativo, ha dado lugar a las correspondientes instrucciones EH 68, EH 73, EH 80, EH 82, EH 88, EH 91, a la vez que se han publicado las normas para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón pretensado EP-77, EP-80 (modificada en 1985) y EP-93 y, para los forjados unidireccionales de hormigón armado y pretensado, EF-88, EF-96, y EFHE.

El texto de la Instrucción EHE de 1998, cuya publicación causó una enorme controversia sobre todo por aumentar la mínima resistencia de 175 k/cm² a 250 k/cm², dedica todo un capítulo, el VII, a la Durabilidad, ampliando los apenas dos folios que la EH-91 dedicaba, e incluye por primera vez la prescripciones relativas a los elementos de hormigón pretensado en el ámbito normativo.

La EH del 2008 va más allá, incluyendo las prescripciones de lo relativo a los Forjados Unidireccionales ejecutados con viguetas y losas alveolares prefabricadas, ampliando el capítulo VII de durabilidad, considerando el concepto y cálculo de vida útil de las estructuras, e introduciendo un modesto último capítulo XVIII al mantenimiento del edificio.

2.- LA DURABILIDAD EN LOS TEXTOS NORMATIVOS

El concepto Durabilidad, llamado en normas antiguas "protección frente a agentes químicos y físicos", ha ido evolucionando, considerándola como una cualidad del Hormigón que ha de tenerse en cuenta desde la fase de proyecto, estudiando el potencial agresivo del medio, y "diseñando" el material, eligiendo dosificaciones adecuadas, controlando materiales, y prestando especial atención a la puesta en obra.

En la primera instrucción EH 44, no se cita el término durabilidad ni se define, y al hablar de las cualidades del hormigón en el artículo 11, sólo se menciona que deberá cumplir las condiciones finales de resistencia, absorción, peso específico, desgaste, compacidad, aspecto externo, etc., además de la docilidad, consistencia y trabazón, pero nada se relaciona acerca de la degradación y los procesos de deterioro del material, ni de la clasificación ambiental.

Si se propone, aunque sin relacionarse con la durabilidad, que la absorción en hormigones expuestos a la intemperie debiera ser del 5 o 6 % en peso por inmersión de probeta previamente desecada, y que la separación de la superficie del hormigón de la armadura se

amplíe de 1 hasta 3 cm en los elementos expuestos a la lluvia, en contacto con la humedad o sometidos a esfuerzos alternativos o peligro de incendios.

Es decir, se cita de soslayo que determinados ambientes agresivos pueden deteriorar el hormigón, y que las medidas concretas para evitarlo es **mejorando la compacidad** y aumentando los **recubrimientos**, además de disponer revestimientos y pinturas como ya citó en el artículo 22.

La primera referencia a Durabilidad se encuentra en la EH de 1980 en el Capítulo 2. Materiales, Artículo 10. Hormigones, "La homogeneidad y compacidad de los hormigones utilizados, así como los recubrimientos y protección previstos para las armaduras, serán los necesarios para garantizar la durabilidad de la obra, teniendo en cuenta sus condiciones de explotación y el ambiente al cual se prevé que estará expuesta."

La primera vez que se define el término Durabilidad del Hormigón es en la EH 91 en el artículo 24.2 "Durabilidad de un elemento de hormigón es su capacidad de comportarse satisfactoriamente frente a las acciones físicas, químicas agresivas y proteger adecuadamente las armaduras y demás elementos metálicos embebidos en el hormigón durante la vida de servicio de la estructura".

La primera vez que la Durabilidad es un capítulo completo es en la EHE del 98, en el Capítulo 7 "Durabilidad", artículo 37, siendo definida como "su capacidad para soportar, durante la vida útil para la que ha sido proyectada, las condiciones físicas y químicas a las que está expuesta, y que podrían llegar a provocar su degradación como consecuencia de efectos diferentes a las cargas y sollicitaciones consideradas en el análisis estructural", y estableciendo la necesidad de definir una "Estrategia para la durabilidad" considerando los posibles mecanismos de degradación del Hormigón armado, y adoptando medidas específicas en función de la agresividad a la que se encuentre sometido cada elemento, incluyendo los siguientes aspectos:

- a) Selección de formas estructurales adecuadas
- b) Adopción de un espesor de recubrimiento adecuado para la protección de las armaduras
- c) Procurar una calidad adecuada del hormigón
- d) Control del valor máximo de abertura de fisura
- e) Disposición de protecciones superficiales en el caso de ambientes muy agresivos
- f) Adopción de medidas contra la corrosión de las armaduras

SELECCIÓN DE FORMAS ESTRUCTURALES ADECUADAS

En la EHE del año 1998 es la primera vez que se considera el diseño y la interacción de los elementos constructivos de la envolvente y las instalaciones con los elementos estructurales, indicándose la estructura se deberá proyectar diseñando los elementos, los encuentros y los puntos singulares evitando el contacto con el agua por filtración directa o por salpicadura, y diseñando los mecanismos de evacuación de agua oportunos.

EL RECUBRIMIENTO DE LAS ARMADURAS

La HA 61, en el artículo 1.22 "Protección frente a los agentes químicos y acciones mecánicas", hace especial mención a la compacidad de los elementos expuestos a la acción de las **aguas marinas** o de **atmosferas agresivas**, fijando los recubrimientos en función de la exposición a la intemperie y distinguiendo entre elementos de poco espesor como forjados y placas y piezas lineales:

HA-61	Forjados y placas (cm)	Piezas lineales (cm)
Elementos abrigados de la intemperie	1,5	1,5
Elementos abrigados de la intemperie, pero expuestos a peligros de incendios	1,5	2,5
Elementos expuestos a la intemperie (heladas, lluvias abundantes, ...)	2	3
Elementos en presencia de atmosferas agresivas o expuestos a la acción de las aguas marinas .	3	4

La EH-68 titula su artículo 22 "**Prevención** y Protección contra acciones físicas y químicas" (eliminando ya de la definición las acciones mecánicas), y cita textualmente: "Se tendrá en cuenta no sólo la durabilidad del hormigón, sino también la corrosión de las armaduras metálicas, debiéndose prestar atención a los recubrimientos", añadiendo: "en estos casos los hormigones deberán ser homogéneos y compactos."

No se mencionan específicamente las medidas para garantizar la compacidad, pero si se prescribe el uso de materiales (agua y áridos) sin sales solubles, y cementos adecuados de gran estabilidad de volumen.

En cuanto a los recubrimientos de las armaduras, en el artículo 13 la EH 68 fija el recubrimiento de barras en una distancia mayor diámetro de dicha barra, debiendo ser, en ambiente no agresivo, mayor que 1 cm si la pieza va protegida (1,5 cm en la EH 73, 80 y 82), ó 2 cm en ambientes húmedos interiores (condensaciones de cocinas o baños) o exteriores, y en el caso de estructuras expuestas a ambientes químicamente agresivos o a peligro de incendio, el recubrimiento de las armaduras lo fijará el proyectista.

	HA 61		EH 68	EH 73/80/82
	Forjados y placas (cm)	Piezas lineales (cm)		
Elementos abrigados de la intemperie	1,5 (>Ø)	1,5 (>1,5Ø)	1 (>Ø)	1,5 (>Ø)
Elementos abrigados de la intemperie, pero expuestos a peligros de incendios	1,5	2,5	S.P.	S.P.
Elementos expuestos a la intemperie	2	3	2	2
Elementos en atmosferas agresivas o expuestos a la acción de las aguas marinas .	3	4	S.P.	S.P.

S.P. Según proyectista

A pesar de estas prescripciones tan concretas, resulta curioso que en las instrucciones del 68, 73, 80 y 82 en los comentarios se exprese: "la mejor protección para las armaduras es un hormigón de buena resistencia y compacidad. Estas cualidades juegan un papel mucho más importante que el simple espesor del recubrimiento, por grande que éste sea".

En la EH 88 y en la EH 91 ya se fijan los recubrimientos en función a 3 tipos de ambientes y se prescribe que en las estructuras expuestas a ambientes químicos especialmente agresivos, sea el proyectista el que fije el recubrimiento aumentando los valores de la tabla y cuidando la compacidad del hormigón del recubrimiento:

AMBIENTE I	Estructuras en interiores de edificios o medios exteriores de baja humedad (no se sobrepasa el 60% de la humedad relativa más de 90 días al año)	2 cm
AMBIENTE II	Estructuras en exteriores normales (no agresivos) o en contacto con aguas normales o terreno ordinario	3 cm
AMBIENTE III	Estructuras en atmósfera agresiva industrial o marina , o en contacto con terrenos agresivos o con aguas salinas o ligeramente ácidas	4 cm

Además en la EH 91 se introduce la siguiente tabla en la que se disminuyen los recubrimientos en la medida que se incrementa la resistencia característica del hormigón a compresión:

Condiciones ambientales de la estructura		Elementos en general (k/cm^2)			Láminas, piezas con paramentos protegidos, prefabricados		
		$f_{ck}<250$	$250\leq f_{ck}<400$	$f_{ck}\geq 400$	$f_{ck}<250$	$250\leq f_{ck}<400$	$f_{ck}\geq 400$
I	Interior de edificios Exteriores de baja humedad	20	15	15	15	15	15
II	Exteriores normales Contacto con aguas normales	30	25	20	25	20	20
III	Atmosfera marina o industrial Contacto con aguas salinas o ligeramente ácidas	40	35	30	35	30	25
	Contacto con el terreno	-	-	-	-	-	-

En la EHE de 1998 se clasifican y definen las clases de exposición ambiental exhaustivamente, según si la agresividad incide en la corrosión de las armaduras o a otros procesos diferentes de la corrosión:

1.- Clases generales de exposición relativas a la **corrosión de las armaduras** (tabla 8.2.2)

CLASE I. NO AGRESIVA: interiores de edificios, no sometidos a condensaciones y elementos de hormigón en masa. La EHE del 2008 incluye los forjados.

CLASE II. HUMEDAD. Corrosión de origen diferente de los cloruros

Ila Humedad alta: Interiores sometidos a humedades relativas medias altas (>65%) o a condensaciones, como sótanos no ventilados. Elementos en exteriores en ausencia de cloruros, y expuestos a lluvia en zonas con una precipitación media anual > 600 mm. Elementos enterrados o sumergidos, como los cimientos.

IIb Humedad media: Exteriores en ausencia de cloruros, sometidos a la acción del agua de lluvia, en zonas con precipitación media anual < a 600 mm, caso de construcciones exteriores protegidas de la lluvia, y Tableros y pilas de puentes, en zonas de precipitación media anual inferior a 600 mm.

CLASE III. MARINA. Corrosión por cloruros.

IIIa Marina Aérea: Elementos de estructuras marinas, por encima del nivel de pleamar, y elementos exteriores de estructuras en las proximidades de la línea costera (a menos de 5 km).

IIIb Marina Sumergida: Elementos de estructuras marinas sumergidas permanentemente, por debajo del nivel mínimo de bajamar, incluyendo zonas sumergidas de obras de defensa litoral y cimentaciones o zonas sumergidas de pilas de puentes en el mar.

IIIc En zona de Mareas: añadiendo en la EHE 08 además las zonas de salpicaduras, son todos aquellos elementos de estructuras marinas situadas en la zona de carrera de mareas o en la zona de salpicaduras.

CLASE IV. CON CLORUROS DE ORIGEN DIFERENTE DEL MARINO.

IV. Instalaciones no impermeabilizadas en contacto con agua que presente un contenido elevado de cloruros, no relacionados con el ambiente marino, como las piscinas y los edificios que las albergan (dato nuevo en la EHE08) o Superficies expuestas a sales de deshielo no impermeabilizadas.

Además la EHE 08 expresa como novedad: "En el caso de estructuras marinas aéreas, el Autor del Proyecto podrá, bajo su responsabilidad, adoptar una clase general de exposición diferente de IIIa siempre que la distancia a la costa sea superior a 500 m y disponga de datos experimentales de estructuras próximas ya existentes y ubicadas en condiciones similares a las de la estructura proyectada, que así lo aconsejen."

2.- Clases específicas de exposición relativas a otros **procesos de deterioro distintos de la corrosión**. (Tabla 8.2.3.a)

CLASE QUIMICA AGRESIVA

La clasificación se realiza en base a los parámetros que se relacionan en la tabla 8.2.3.b correspondientes al análisis químico del suelo y del agua: valor del PH, Co2 Agresivo, Ión Amonio, Ión Magnesio, Ión Sulfato, Residuo Seco, Grado de Acidez Baumann-Gully, e Ión Sulfato.

Qa Química Débil: Elementos situados en ambientes con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad lenta, en Instalaciones industriales, y construcciones en la proximidad de áreas industriales.

Qb Química Media: Elementos en contacto con agua de mar o situados en ambientes con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad media, en Instalaciones industriales, y construcciones en la proximidad de áreas industriales, e Instalaciones de conducción y tratamiento de aguas residuales, y Estructuras Marinas

Qc Química Fuerte: Elementos situados en ambientes con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad rápida, en Instalaciones industriales, y construcciones en la proximidad de áreas industriales, e Instalaciones de conducción y tratamiento de aguas residuales

CON HELADAS

H SIN SALES FUNDENTES. Ataque hielo-deshielo: Elementos situados en contacto frecuente con agua, o zonas con humedad relativa media ambiental en invierno superior al 75%, y que tengan una probabilidad anual superior al 50% de alcanzar al menos una vez temperaturas por debajo de -5°C, como Construcciones en zonas de alta montaña o Estaciones invernales.

F CON SALES FUNDENTES. Ataque por sales fundentes: Elementos destinados al tráfico de vehículos o peatones en zonas con más de 5 nevadas anuales o con valor medio de la temperatura mínima en los meses de invierno inferior a 0°C, como Tableros de puentes o pasarelas en zonas de alta montaña en las que se utilizan sales fundentes, no considerándolos según la EHE 08 si están debidamente impermeabilizados.

EROSIÓN, E Abrasión o Cavitación: Elementos sometidos a desgaste superficial y elementos de estructuras hidráulicas en los que la cota piezométrica pueda descender por debajo de la presión de vapor del agua, como Pilas de puente en cauces muy torrenciales, elementos de obras de defensa litoral sometidos a fuertes oleajes, Pavimentos de hormigón, y Tuberías de alta presión.

Así, en base a la clase de exposición ambiental, se establecen los valores mínimos de recubrimientos en la tabla 37.2.4:

Resistencia característica del hormigón [N/mm ²]	Tipo de elemento	RECUBRIMIENTO MÍNIMO [mm] SEGÚN LA CLASE DE EXPOSICIÓN									
		I	IIa	IIb	IIIa	IIIb	IIIc	IV	Qa	Qb	Qc
$25 \leq f_{ck} < 40$	general	20	25	30	35	35	40	35	40	(*)	(*)
	elementos prefabricados y láminas	15	20	25	30	30	35	30	35	(*)	(*)
$f_{ck} \geq 40$	general	15	20	25	30	30	35	30	35	(*)	(*)
	Elementos prefabricados y láminas	15	20	25	25	25	30	25	30	(*)	(*)

(*) El proyectista fijará el recubrimiento.

Adicionalmente, para garantizar estos valores mínimos, se indica se prescriba en el proyecto un valor nominal del recubrimiento de valor mayor que el recubrimiento mínimo marcado en la tabla 37.2.4 más un margen de recubrimiento en función del control de ejecución, que será de valor nulo en el caso de elementos prefabricados con nivel de control intenso, 5mm para elementos ejecutados "in situ" con nivel intenso de ejecución, y 1 cm en el resto de casos.

La EHE del 2008 introduce cambios en la elección de los recubrimientos, considerando como nuevo parámetro la **vida útil** de la estructura definida en el Artículo 5.º, en el que se describen los requisitos para garantizar la seguridad de las personas, los animales y los bienes, el bienestar de la sociedad y la protección del medio ambiente, y se prescribe que las estructuras de hormigón han de ser idóneas para su uso durante la totalidad del período de vida útil para la que se construye satisfaciendo los requisitos básicos de seguridad y funcionalidad estructural, seguridad en caso de incendio, e higiene, salud y protección del medio ambiente

La instrucción establece que es la Propiedad la que habrá de fijar al inicio de proyecto, la vida útil nominal de la estructura, según los valores recogidos en la tabla 5.1.

Tipo de estructura	Vida útil nominal
Estructuras de carácter temporal (2)	Entre 3 y 10 años
Elementos reemplazables que no forman parte de la estructura principal (por ejemplo, barandillas, apoyos de tuberías)	Entre 10 y 25 años
Edificios (o instalaciones) agrícolas o industriales y obras marítimas	Entre 15 y 50 años
Edificios de viviendas u oficinas, puentes u obras de paso de longitud total inferior a 10 metros y estructuras de ingeniería civil (excepto obras marítimas) de repercusión económica baja o media	50 años
Edificios de carácter monumental o de importancia especial	100 años
Puentes de longitud total igual o superior a 10 metros y otras estructuras de ingeniería civil de repercusión económica alta	100 años

Y especifica los recubrimientos de las armaduras para garantizar la durabilidad de la armadura en función del ambiente y la vida útil considerada:

Clase de exposición	Tipo de cemento	Resistencia característica del hormigón [N/mm ²]	Vida útil de proyecto (tg), (años)	
			50	100
I	Cualquiera	$f_{ck} \geq 25$	15	25
		$25 \leq f_{ck} < 40$	15	25
II a	CEM I	$f_{ck} \geq 40$	10	20
		$25 \leq f_{ck} < 40$	20	30
	Otros tipos de cementos o empleo de adiciones al hormigón	$f_{ck} \geq 40$	15	25
		$25 \leq f_{ck} < 40$	20	30
II b	CEM I	$f_{ck} \geq 40$	15	25
		$25 \leq f_{ck} < 40$	20	30
	Otros tipos de cementos o empleo de adiciones al hormigón	$f_{ck} \geq 40$	25	35
		$25 \leq f_{ck} < 40$	20	30

Hormigón	Cemento	Vida útil de proyecto (tg) (años)	Clase general de exposición			
			IIIa	IIIb	IIIc	IV
Armado	CEM III/A, CEM III/B, CEM IV, CEM II/B-S, B-P, B-V, A-D u hormigón con adición de microsilíce superior al 6% o de cenizas volantes superior al 20%	50	25	30	35	35
		100	30	35	40	40
	Resto de cementos utilizables	50	45	40	*	*
		100	65	*	*	*
Pretensado	CEM II/A-D o bien con adición de humo de sílice superior al 6%	50	30	35	40	40
		100	35	40	45	45
	Resto de cementos utilizables, según el Artículo 26º	50	65	45	*	*
		100	*	*	*	*

*Estas situaciones obligarían a unos recubrimientos excesivos. En estos casos, se recomienda comprobar el Estado Límite de Durabilidad según lo indicado en el Anejo nº 9.

En caso de mecanismos de deterioro distintos de la corrosión de las armaduras:

Clase de exposición	Tipo de cemento	Resistencia característica del hormigón [N/mm ²]	Vida útil de proyecto (tg), (años)	
			50	100
H	CEM III	$25 \leq f_{ck} < 40$	25	50
		$f_{ck} \geq 40$	15	25
	Otros tipos de cemento	$25 \leq f_{ck} < 40$	20	35
		$f_{ck} \geq 40$	10	20
F	CEM I I/A-D	$25 \leq f_{ck} < 40$	25	50
		$f_{ck} \geq 40$	15	35
	CEM III	$25 \leq f_{ck} < 40$	40	75
		$f_{ck} \geq 40$	20	40
	Otros tipos de cementos o en el caso de empleo de adiciones al hormigón	$25 \leq f_{ck} < 40$	20	40
		$f_{ck} \geq 40$	10	20
E	Cualquiera	$25 \leq f_{ck} < 40$	40	80
		$f_{ck} \geq 40$	20	35
		-	40	55
Qa	CEM III, CEM IV, CEM II/B-S, B-P, B-V, A-D u hormigón con adición de microsilíce superior al 6% o de cenizas volantes superior al 20%	-	40	55
	Resto de cementos utilizables	-	*	*
Qb, Qc	Cualquiera	-	(2)	(2)

(*) Estas situaciones obligarían a unos recubrimientos excesivos, (2) El Autor del proyecto deberá fijar estos valores de recubrimiento mínimo y, en su caso, medidas adicionales.

En el caso de que el Autor del proyecto establezca en el mismo la adopción de medidas especiales de protección frente a la corrosión de las armaduras (protección catódica, armaduras galvanizadas o empleo de aditivos inhibidores de corrosión en el hormigón), podrá disponer unos recubrimientos mínimos reducidos para las clases generales III y IV, que se corresponderán con los indicados en este artículo para la clase general IIS.

PROCURAR UNA CALIDAD ADECUADA DEL HORMIGÓN

Para garantizar la adecuada calidad del hormigón se dedica una buena parte del texto normativo a definir las características físicas, químicas y mecánicas de cada material constitutivo del Hormigón: agua, árido, cemento, aditivos y adiciones, de forma muy parecida en todos los textos normativos, a diferencia del caso de las Dosificaciones de estos componentes, ya que no es hasta la EH 88 y posteriormente en la EH 91 idénticamente, cuando se habla por primera vez de relación Agua/cemento y de mínimo contenido en cemento en función del tipo de ambiente para garantizar la compacidad y por tanto la durabilidad: "Una condición para garantizar la durabilidad del hormigón, así como su colaboración a la protección de las armaduras frente a la corrosión consiste en obtener un hormigón con una permeabilidad reducida. Para obtenerla son decisivos la elección de una

relación agua/cemento suficientemente baja, la compactación idónea del hormigón, un contenido adecuado de cemento y la hidratación suficiente de éste, conseguida por un cuidadoso curado."

Y así se indican por primera vez las dosificaciones en función de la agresividad ambiental y las necesidades de mejorar la compacidad:

AMBIENTE	Relación Max. A/C	Contenido mínimo de cemento kg/m ³	
		Hormigón en masa	Hormigón armado
I	0,65	150	250
II	0,60	175	275
IIh	0,55	175	300
IIf	0,50	200	300
III	0,55	200	300
IIIh	0,50	200	300
IIIf	0,50	200	325
Químicamente agresivo (**)	0,50	200	325

Indicando en la EHE del 1998, que para garantizar una durabilidad adecuada del hormigón se deben cumplir los requisitos siguientes:

- Requisitos de **carácter general**: establecer la máxima relación agua/cemento, y el mínimo contenido de cemento, fijándolos en la tabla siguiente:

Tabla 37.3.2.a Máxima relación agua/cemento y mínimo contenido de cemento

Parámetro de dosificación	Tipo de hormigón	CLASE DE EXPOSICIÓN												
		I	IIa	IIb	IIIa	IIIb	IIIc	IV	Qa	Qb	Qc	H	F	E
Máxima Relación a/c	masa	0,65	-	-	-	-	-	-	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,50
	Armado	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,50	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,50
	Pretensado	0,60	0,60	0,55	0,45	0,45	0,45	0,45	0,50	0,45	0,45	0,55	0,50	0,50
Mínimo contenido de cemento (kg/m ³)	masa	200	-	-	-	-	-	-	275	300	325	275	300	275
	Armado	250	275	300	300	325	350	325	325	350	350	300	325	300
	Pretensado	275	300	300	300	325	350	325	325	350	350	300	325	300

- Requisitos **adicionales**:

Utilización de un **cemento resistente a los sulfatos**, debiendo usar un cemento con la característica adicional de resistencia a los sulfatos, siempre que su contenido sea igual o mayor que 600 mg/l en el caso de aguas, o igual o mayor que 3000 mg/kg, en el caso de suelos.

Utilización de un **cemento resistente al agua de mar**, en el caso de que un elemento estructural esté sometido a un ambiente que incluya una clase general del tipo IIIb ó IIIc, o bien que un elemento de hormigón en masa se encuentre sumergido o en zona de carrera de mareas.

Resistencia frente a la erosión, adoptándose las siguientes medidas adicionales:

- Resistencia mínima del hormigón de 30 N/mm².
- El árido fino deberá ser cuarzo u otro material de, al menos, la misma dureza.
- El árido grueso deberá tener un coeficiente de Los Ángeles inferior a 30.
- Limitar los contenidos de cemento para cada tamaño máximo del árido D:

D	Contenido máximo de cemento
10 mm	400 kg/m ³
20 mm	375 kg/m ³
40 mm	350 kg/m ³

- Curado prolongado, con duración, al menos, un 50% superior a la que se aplicará, a igualdad del resto de condiciones, a un hormigón no sometido a erosión.

Resistencia frente a las reacciones álcali-árido, adoptándose las siguientes medidas:

- Empleo de áridos no reactivos,
- Empleo de cementos con un contenido de alcalinos, expresados como óxido de sodio equivalente (0,658 K₂O + Na₂O) inferior al 0,60% del peso de cemento.
- En el caso de no ser posible la utilización de materias primas que cumplan las prescripciones anteriores, se deberá realizar un estudio experimental específico sobre la conveniencia de adoptar una de las siguientes medidas:
 - o Empleo de cementos con adiciones, salvo las de filler calizo.
 - o Empleo de adiciones al hormigón.
 - o En estos casos, puede estudiarse también la conveniencia de adoptar un método de protección adicional por impermeabilización superficial.

Mínimo contenido de aire ocluido, para favorecer la resistencia del hormigón frente a la helada cuando un hormigón esté sometido a una clase de exposición F, introduciendo un contenido mínimo de aire ocluido del 4,5%, determinado de acuerdo con UNE 83.315:96.

Impermeabilidad del Hormigón, comprobándola mediante el método de determinación de la profundidad de penetración de agua bajo presión, para la comprobación de la eficacia de las dosificaciones, debiendo realizarse cuando las clases generales de exposición sean III ó IV. Un hormigón se considera suficientemente impermeable al agua si los resultados del ensayo de penetración de agua cumplen simultáneamente que:

- La profundidad máxima de penetración de agua es menor o igual que 50 mm.
- La profundidad media de penetración de agua es menor o igual que 30 mm.

Modificándose el requisito en la EHE del 2008 en función de la agresividad ambiental, 50 mm en el caso de ambientes IIIa, IIIb, IV, Qa, E, H, F, Qb (en el caso de elementos en masa o armados), y 30 mm en los IIIc, Qc Qb (solo en el caso de elementos pretensados)

Con respecto a la Consistencia o Docilidad en la EH 68 se prohíbe la utilización de hormigones de consistencia fluida y se recomiendan los hormigones de consistencia seca, plástica u otra cualquiera intermedia entre las dos, compactados por vibrado, pero en las instrucciones **EH 73/80/82/88/91** se produce un cambio, recomendando ya la consistencia **plástica** y añadiendo: "Salvo casos excepcionales, debidamente sancionados por la experiencia se prohíbe la utilización de hormigones de consistencia líquida en elementos con función resistente." Eliminando además la recomendación la Consistencia Seca.

En la **EHE 1998 al igual que en la del 2008 se establece que sea** "la necesaria para que, con los métodos previstos de puesta en obra y compactación, el hormigón rodee las armaduras sin solución de continuidad y rellene completamente los encofrados sin que se produzcan coqueas" recomendando la consistencia Blanda, sancionando la seca y la plástica y especificando que podrán usarse consistencias líquidas siempre que sean conseguidas exclusivamente mediante el uso de Super-plastificantes.

CONTROL DEL VALOR MÁXIMO DE ABERTURA DE FISURA

El Control del valor máximo de abertura de fisura se cita en el artículo 49 de la EHE 98 en la tabla 49.2.4, limitándose a 0,4 mm en ambiente protegido, a 0,2 en ambiente marino y a 0,1 en ambiente químico agresivo.

DISPOSICIÓN DE PROTECCIONES SUPERFICIALES

La EH del 98 prescribe las protecciones superficiales en el caso de ambientes muy agresivos, y en la EHE del 2008 ya se definen específicamente estas protecciones, mediante pinturas o revestimientos, galvanizado, protección catódica, acero inoxidable, ó aditivos inhibidores de la corrosión.

ADOPCIÓN DE MEDIDAS CONTRA LA CORROSIÓN DE LAS ARMADURAS

En la EH 68 y la 73 se cita únicamente la prohibición del uso de agua ó áridos capaces de aportar sales solubles, y se prescribe el uso de conglomerantes de gran estabilidad de volumen (evitando el riesgo de fisuración), y en todas las instrucciones hasta la EHE 08 se añade:

- Es necesario considerar desde el proyecto el grado de agresividad que presenta para las armaduras el medio ambiente donde vaya a estar situada la obra.
- Se deberán tener en cuenta las consideraciones relativas a los espesores de recubrimiento.
- Se evitará poner en contacto las armaduras con metales de diferente potencial galvánico.
- Se evitará emplear materiales componentes que contengan iones despasivantes, como cloruros, sulfuros y sulfatos, en proporciones superiores a las indicadas en los Artículos 26º Cementos, 27º Agua, y 28 Áridos.
- Además el contenido total de cloruros en un hormigón armado o en masa que contenga armaduras para reducir la fisuración, sea inferior al 0,4% del peso del cemento

MANTENIMIENTO

La primera vez que la normativa del hormigón trata del mantenimiento es en la última publicada en 2008 en su Título 9, capítulo 18, Artículo 103, definiéndolo como una actividad de carácter preventivo y "el conjunto de actividades necesarias para que el nivel de prestaciones para el que ha sido proyectada la estructura, no disminuya durante su vida útil de proyecto por debajo de un cierto umbral, vinculado a las características de resistencia mecánica, durabilidad, funcionalidad y, en su caso, estéticas".

En este capítulo se pone el edificio en manos del propietario el cual es responsable de programar y ejecutar las actividades de mantenimiento, pero se cita concretamente que requieren ser realizadas por personal con medios y formación adecuados.

La Estrategia de mantenimiento o "sistema de gestión de la estructura", debe realizarla el autor del proyecto indicando las inspecciones que han de realizarse y su frecuencia, y contemplando los siguientes conceptos:

- **Inspecciones rutinarias.** Compete a la Propiedad realizar inspecciones rutinarias como actuaciones de limpieza de elementos de desagüe, de impermeabilización, juntas, etc., en general, de elementos auxiliares, no estructurales.
- **Inspecciones principales,** realizadas a instancia de la Propiedad, por técnicos cualificados y con experiencia en este tipo de trabajos, según lo que se establezca en el Plan de Inspección y Mantenimiento que deberá ser redactado junto con el proyecto de la estructura, y que se define como el conjunto de actividades técnicas, que permite detectar

los daños que exhibe la estructura, sus condiciones de funcionalidad, durabilidad y seguridad del usuario e, incluso, permite estimar su comportamiento futuro, y deberá contener la definición precisa de, al menos, los siguientes puntos:

- Descripción de la estructura y de las clases de exposición de sus elementos.
- Vida útil considerada.
- Puntos críticos de la estructura, a efectos de inspección y mantenimiento.
- Periodicidad de las inspecciones, prescribiéndose cada 5 años en el caso de edificios públicos o puentes, 10 años en edificios no públicos ó 5 en elementos exteriores en contacto con ambiente agresivo.
- Técnicas y criterios de inspección recomendados.
- Identificación y descripción, de la técnica de mantenimiento recomendada.

- **Inspecciones especiales** y pruebas de carga.

3.- ESTUDIOS PREVIOS DE RECONOCIMIENTO y EL PROYECTO DE REPARACIÓN

El proyecto de reparación de una estructura de Hormigón armado **es complejo** y su éxito radica en disponer de suficientes datos, como consecuencia de una adecuada fase inicial de inspección del edificio y análisis del estado de degradación, que nos permitan considerar las **actuaciones más eficaces**: fáciles de ejecutar, no demasiado costosas, y durables; de refuerzo y protección de los elementos estructurales.

Para **valorar el estado real de la estructura** es preciso realizar unos estudios previos exhaustivos, que necesitan de un considerable tiempo de análisis y una disponibilidad económica relativamente holgada, ya que no solamente los ensayos y estudios son caros sino que hay que eliminar revestimientos, abrir falsos techos, levantar solerías, etc., es decir unos trabajos de demolición y por supuesto otros de re-construcción que tienen un coste importante, y que además causan un cierto perjuicio a los usuarios del edificio que se está estudiando.

El diseño del plan de reconocimiento **que debiera ser realizado por el autor del proyecto** de reparación estructural, habitualmente es realizado por otro técnico o empresa especializada en estudios de Patología, al que la propiedad encarga un estudio somero para saber si debe rehabilitar su edificio o si con unas leves actuaciones de limpieza y pintura es suficiente, con lo que en la mayoría de los casos nos encontramos con informes que no recaban la información necesaria para redactar el proyecto, y con la falta de disponibilidad de financiación para realizar más pruebas, lo que hace que no solo en el proyecto se planteen incertidumbres, sino que la valoración económica inicial del proyecto haya de ser modificada sustancialmente en el transcurso de las obras, con el trastorno que esto provoca.

Existen muchos libros y comunicaciones a congresos que tratan la cuestión de las lesiones en el Hormigón armado y los ensayos que nos permiten determinar el estado de deterioro de la estructura, pero cuando un técnico se enfrenta a un edificio en uso, con síntomas de degradación, y sin poder encargar demasiados ensayos por falta de presupuesto, la teoría ha de ser suplida por intuición y sentido común, debiendo tener en cuenta inicialmente las siguientes dos cuestiones:

- 1) Si en una estructura aparecen lesiones localizadas debemos sospechar, salvo casos contados, que existen otras aunque de carácter quizás aún leve en el edificio y por tanto ocultas, ya que las **causas más habituales de la degradación en el Hormigón** se producen como consecuencia de una indebida puesta en obra o por

cuestiones de diseño, que provocan lesiones generalizadas en sus elementos, y que podemos sintetizarlas en las siguientes:

- **Elevada porosidad y heterogeneidad** en el Hormigón, como consecuencia de una inadecuada dosificación, puesta en obra y curado. Causa de la entrada de humedad y de agentes y sustancias agresivas. Causa de la Carbonatación del hormigón y la consecuente despasivación de las armaduras.
 - **Falta de recubrimiento de armaduras** por no haber usado separadores, o haberlos colocado inadecuadamente, y posibles recubrimientos diferenciales en distintas zonas de un mismo elemento, lo que propicia la corrosión por aireación diferencial al tener contenidos de humedad muy diferentes.
 - **Falta de protección en puntos críticos del edificio**, sobre todo en zonas de acumulación de humedad o frecuentes filtraciones: arranque de fachada, zonas junto a instalaciones de suministro de agua o saneamientos, encuentros de la fachada con la estructura, elementos de última planta bajo cubierta, etc.
 - **Uso inadecuado del Hormigón visto en ambientes agresivos** sin proteger superficialmente con pinturas o resinas, hecho específicamente citado desde las antiguas instrucciones del Hormigón, y "evidente".
- 2) Que existen en el mercado pruebas y ensayos para hacer un dictamen muy preciso sobre el estado de degradación de la estructura del edificio, pero deben ser prescritas una vez se haya hecho un **análisis de lesiones** exhaustivo como consecuencia de una inspección minuciosa del edificio, para evitar gastos innecesarios en pruebas que no merezcan la pena realizar, y emplear el esfuerzo económico en **testar un número considerable de puntos de la estructura**.

ANÁLISIS DE LESIONES Y DAÑOS EXISTENTES EN EL EDIFICIO

Para realizar un buen análisis de lesiones es preciso establecer cuatro fases:

En una **PRIMERA** se ha de realizar una **inspección exhaustiva**, dirigida a detectar las posibles lesiones existentes en los elementos estructurales y constructivos, localizando, fotografiando y midiendo in situ los siguientes grupos de daños:

DEFORMACIONES DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES, flechas, etc., por encima de los márgenes de seguridad, que avisen de un mal comportamiento de la estructura, bien por defectos de diseño o cálculo, bien por pérdidas de sección de la armadura.

FISURAS Y GRIETAS, en elementos estructurales y en otros elementos constructivos sustentados por la estructura, indicando geometría, inclinación y abertura.

DESPRENDIMIENTOS DE MATERIAL, de los elementos estructurales y de elementos constructivos que se disponen sobre la estructura o que se anclan a ella.

MANCHAS SUPERFICIALES, normalmente de color blancuzco, que pudieran alertarnos de la existencia de sales de diversa composición en el hormigón.

HUMEDADES, de filtración o de condensación, a través de la cubierta, de la envolvente, del terreno por capilaridad, que puedan provocar lesiones graves en la estructura

En una **SEGUNDA FASE** del análisis se realiza el levantamiento gráfico de las lesiones, indicando su posición y magnitud en planos de planta, alzados y secciones, con el objeto de tener una visión global del problema y correlacionar los daños, y poder, en base a los síntomas que presenta el edificio establecer el número, la posición, y el tipo de prueba que sean precisas para definir la causa de la lesión y cuantificar el estado de deterioro, es decir,

redactar el Plan de Estudios previos de Reconocimiento para que las empresas especializadas expedir las ofertas.

En base a los Procesos de deterioro de las estructuras de hormigón armado que podemos sintetizarlos en dos grandes grupos:

1. Lesiones debidas a problemas de la propia estructura, por un cálculo incorrecto o un incremento de las acciones en la fase de uso del edificio, y que se manifiestan como Fisuras en pilares o/y en muros y Fisuras en vigas, losas o/y forjados
2. Degradación de los materiales de la estructura: corrosión de armaduras y ataques al hormigón

podemos plantear los ensayos necesarios, dentro del amplio abanico de que disponemos y que se clasifican en destructivos y no destructivos:

Para poder dictaminar si las lesiones se deben a los problemas propios de la estructura, es preciso realizar un estudio del sistema estructural, determinando su diseño, tipología, geometría, dimensiones, cuantías de armado, pérdidas de sección de las armaduras como consecuencia de la corrosión, y resistencia a compresión.

Este estudio precisa de ensayos no destructivos de tipo electromagnético como el pachómetro u otros ensayos de tipo sísmico, que nos pueden orientar sobre la posición de las armaduras, los recubrimientos y los diámetros; o el esclerómetro y los ultrasonidos para determinar la resistencia característica del hormigón a compresión, pero también de tipo destructivos, como la extracción de probetas testigo para romper a compresión en laboratorio y poder determinar características físicas y químicas, y calos de comprobación de armado y frentes carbonatados.

En el caso de analizar la degradación de los materiales de la estructura, es preciso determinar en base a al tipo de proceso:

- Corrosión de armaduras: medida de diámetros en zonas sanas y comprobación con los planos de armado del proyecto de ejecución, limpieza de barras corroídas y medida del diámetro resultante, cálculo de pérdidas de sección e indicaciones en planos de las cuantías originales y las resultantes tras la inspección.

- Ataques al Hormigón: determinación de características físicas y químicas que nos permitan cuantificar el deterioro y conocer el origen del proceso de degradación, siendo habitual la determinación de cómo mínimo la Densidad aparente, Porosidad, pH, Cloruros, y Sulfatos.

La realización de los ensayos y pruebas "in situ" constituyen la **TERCERA FASE**, y si bien son realizados por empresas de amplia solvencia, es recomendable que los redactores del proyecto estén presentes en su realización para sobre la marcha tomar decisiones sobre cuestiones como el cambio de situación de los puntos de reconocimiento, la posible ampliación o reducción del estudio en base a los resultados iniciales, y poder ir obteniendo datos que permitan en paralelo redactar el informe de lesiones.

Por último, en la **CUARTA FASE**, una vez realizados los ensayos prescritos y con los resultados en nuestras manos, será preciso realizar cálculos estructurales que determinen las necesidades de refuerzo, y estaremos en disposición de redactar el Informe del estado de Deterioro de la Estructura, y poder plantear una estrategia de reparación de la estructura y de los elementos constructivos del edificio, que con simples labores de mantenimiento futuras eviten la aparición de nuevos daños.

4.- ANÁLISIS DE CASOS EN LA COSTA ANDALUZA

En esta ponencia centraré el análisis de casos en el proyecto de Reparación estructural de un edificio administrativo llamado "María Auxiliadora", que realicé con mis socias Inmaculada Luque Pecci y Natalia Ruiz Bobillo entre los años 2006 y 2008, haciendo referencias y correlacionándolo con otros casos en los que he participado en los estudios previos e informes periciales, un hotel y un edificio de la Junta de Andalucía también en Cádiz y un centro comercial y multicines en Huelva.

La costa Andaluza se baña en el océano Atlántico desde Huelva en la frontera con Portugal, hasta el estrecho de Gibraltar, límite entre Cádiz y Málaga y puerta al Mediterráneo, y desde allí hasta el límite de Almería con la comunidad Murciana.

La ciudad de Cádiz se ubica en la zona más al Sur de Andalucía, en una isla, por tanto rodeada completamente por el mar e inmersa en "ambiente marino" a la vez que muy sometida a la acción del viento: el temido Levante, un viento del Este muy seco y caluroso que sopla habitualmente con gran fuerza, o el poniente, del Oeste y normalmente más frío pero muy húmedo, o el del Sur, trayendo el calor y el polvo en suspensión del Desierto del Sahara en la parte de Marruecos.

En esta ciudad tan castigada por la meteorología se encuentra el edificio administrativo "María Auxiliadora", un edificio de Hormigón visto que se construyó en los años 70' y que se rehabilitó entre los años 2006 y 2008, tras haber transcurrido alrededor de 35 años de vida útil.

Es un edificio exento de planta rectangular, y se desarrolla en altura con tres plantas sobre rasante (Planta Baja, Primera y Segunda) y dos bajo rasante (plantas de Semisótano y Sótano) con una Superficie total construida de 2500 m².

La estructura de hormigón armado se evidencia en la piel del edificio generando una retícula de líneas y superficies sobre las que se disponen las carpinterías.

La planta baja se retranquea respecto de la estructura hacia el interior generando un espacio porticado elevado sobre la cota de acceso.

La estructura es de gran rigidez, de pórticos de Hormigón armado y forjados bidireccionales, con pilares de gran sección (de 95 cm de lado en Planta Sótano) dispuestos según una malla ortogonal de luces de 9,60 y 10,30 m. En planta baja el forjado bidireccional se prolonga con un vuelo de 1,20 metros en todo el edificio desde la cara exterior de los pilares del perímetro, configurando de esta forma el espacio porticado correspondiente al acceso del edificio.

En las plantas primera y segunda, a los pilares se les adosan unas pantallas que se prolongan hasta el borde exterior del forjado, y continúan hacia la planta de cubierta emergiendo a pares en cada pilar del perímetro con una altura total de 2,45 metros.

La envolvente del edificio se configura con paños de vidrio sobre carpintería de aluminio dispuestos entre pantallas de hormigón.

DESCRIPCIÓN DE LESIONES Y DAÑOS

En el año 2006 cuando somos contratadas para la redacción del proyecto de Reparación del edificio, nos cuentan que en el año 2003 se produjo un primer desprendimiento de un trozo de Hormigón de la fachada, con la suerte de no herir a nadie, y que tanto los bomberos en

ese momento como una empresa que se contrató a posteriori, picaron las zonas de la fachada en las que se localizaban desprendimientos o grietas.

En la inspección preliminar que realizamos se podían a simple vista detectar las siguientes lesiones:

En los Pilares y pantallas exteriores se localizaron fisuras verticales y zonas desprendidas de hormigón producidos por la expansión del óxido de las armaduras de acero.

Los pilares interiores no presentaban en general lesiones en el momento de la inspección, únicamente detectamos en dos pilares en planta sótano fisuras y desprendimientos.

En el Forjado de planta baja detectamos fisuras en la zona del borde de los vuelos sobre el soportal, y tras la inspección del resto de los forjados comprobamos que sucedía igual.

En los paramentos exteriores y cantos de forjados se localizaron fisuras en el entorno del encuentro con las carpinterías, y desprendimientos del hormigón de recubrimiento de las armaduras.

Se localizaron filtraciones de agua de lluvia a través de las carpinterías, de la cubierta, y del techo de la Planta semisótano bajo el soportal.

En el momento del encargo del Anteproyecto la propiedad nos facilitó los planos originales del edificio y un informe de una empresa especializada en Reconocimientos y Estudios previos en edificios que incluía el análisis de la estructura, las lesiones detectadas, el análisis de los materiales, un estudio de Ultrasonidos en pilares de plantas baja y sótano, y un cálculo de la estructura con los datos obtenidos para comprobar los estados límite de servicio y de Fisuración según la EHE 98.

DATOS DEL INFORME DE LA EMPRESA ESPECIALIZADA

La propiedad encargó un informe de patologías a una empresa especializada con el objeto de localizar las lesiones existentes, cuantificar el grado de deterioro y ofrecer argumentos que les permitieran decidir si era preciso Rehabilitar. De este informe se extrajeron los siguientes datos:

En las plantas **Sótano y Semisótano** no se detectaron lesiones pues las superficies se encontraban pintadas recientemente. Se extrajeron probetas testigo de 10 cm de diámetro para ser ensayadas en laboratorio aleatoriamente en 3 pilares, obteniéndose valores de Resistencia a compresión entre 20 y 35 MPa, valores altos ya que la EH 68 fijaba la mínima resistencia del Hormigón armado a compresión en 12 MPa, y en las posteriores del 73, 82, 88 y 91 en 12,5 (hasta la EHE que se eleva la mínima resistencia a compresión de estructuras de hormigón armado a 25 MPa y en masa a 20 MPa); los valores de porosidad variaban entre 9,8 y 17,3%, pH por encima de 12 y contenidos en cloruros de 0.014 a 0.018 y de sulfatos de entre 0.32 y 0.39 %, constatándose que la porosidad es media-alta y los valores de sustancias que podían atacar al hormigón eran bajos. Del testeo por ultrasonidos a todos los pilares los valores de Resistencia a compresión que se obtuvieron variaron entre 18 y 34,5 N/mm², valores muy diferentes consecuencia de una puesta en obra y curado defectuosos.

En la inspección de la **Planta Baja** del edificio se detectan en elementos exteriores muchas zonas con desprendimientos por corrosión de las armaduras, y tras la medida de la pérdida de sección de las barras en los pilares en la base y la zona superior, se obtuvieron valores muy variables, en la zona inferior de los arranques un 100% de pérdida en estribos y un 35 % en la armadura longitudinal, y en la zona superior un 60% en estribos pero en muchas

zonas la pérdida medida fue nula, sin ni siquiera indicios de corrosión. De una muestra tomada en un pilar se obtuvieron valores muy similares a los obtenidos en planta de sótano: 32 MPa a compresión, pH de 12,3, porosidad del 14% y valores de cloruros y sulfatos bajos. Además se realizó un testeo de todos los pilares mediante la técnica de ultrasonidos ofreciendo valores de Resistencia a compresión desde 25 a 36,7 N/mm².

En el **Forjado de planta baja** detectamos fisuras en la zona del borde de los vuelos sobre el soportal, de aberturas variables entre 0,2 mm y 0,5 mm en el techo de plantas segunda y primera, y de hasta 0,9 mm en el de planta baja, correspondientes a las previsibles como consecuencia de las deformaciones diferidas y la acción de la temperatura, dado que no existe viga de borde en ellos.

En **Planta Primera**, se midieron las pérdidas de sección de armaduras en 7 catas en fachada, con valores de hasta un 65% en estribos de cantos de forjados, valores nulos en tres de las 7 catas realizadas.

En **Planta Segunda**, se realizaron sólo dos catas en fachada, midiéndose un 25% y 0% de pérdida en la zona de cantos de forjados.

Las pantallas de hormigón armado en su prolongación hasta la **Cubierta** presentaban un alto grado de deterioro, al ser elementos delgados (18 cm de espesor), los recubrimientos de armaduras eran aún menores que en el resto de la estructura, y presentaban por tanto una mayor superficie de desprendimientos en relación a su volumen.

Del **cálculo de la estructura** realizado, considerando las reducciones de sección de armaduras en pilares exteriores y aplicando además como sollicitación el efecto de la Temperatura, se comprobó que la estructura cumplía holgadamente tanto el Estado Límite de Servicio como el de Fisuración, según normativa vigente.

EL PROYECTO Y LA OBRA DE REPARACIÓN

Al abordar el proyecto nos planteamos una serie de cuestiones que condicionaron las soluciones de reparación, el presupuesto y la secuencia de los trabajos durante la obra:

- Los ensayos realizados indicaban que los daños estaban muy centrados en las fachadas de hormigón visto, y no tenían un grado de deterioro tan grave en general como podía pensarse inicialmente tras la primera visita al edificio.
- Se habían considerado en el informe de patologías muy pocos puntos de reconocimiento en pilares y fachadas, únicamente un total de 4 testigos y 15 calos para medir pérdidas de sección en armaduras, lo que nos planteaba muchas incertidumbres a la hora del plantear el grado de intensidad de la intervención.
- En forjados se realizaron un total de veinte catas por planta que corroboraron el buen estado de conservación de los mismos, detectado en la inspección preliminar.
- No se habían medido espesores de recubrimientos en los calos ni profundidad de carbonatación, ni se habían contratado ensayos para determinar armado y recubrimientos mediante Pachómetro.
- La propiedad, nos planteó que a pesar de los resultados bastante buenos obtenidos, diseñáramos una solución general que incluyera actuaciones que podíamos sospechar hubiera que hacer, ya que modificar el presupuesto al alza en obras públicas era muy complejo, lo que nos condujo a prescribir actuaciones que no sabíamos si iban a ser necesarias.

- No había posibilidad de dedicar parte del presupuesto a la reparación o sustitución de las carpinterías.
- El edificio es de uso administrativo, propiedad del gobierno central, alquilado al gobierno Andaluz, y estaba en uso durante la inspección e iba a estar en uso durante la obra.

Ante el escaso número de elementos reconocidos, consideramos ya desde el proyecto la necesidad de simultanear los trabajos en las fachadas en los que era evidente su alto grado de deterioro, con la realización de nuevas pruebas en elementos situados en el interior, con el objeto de determinar el grado de intensidad de la intervención, ajustando las obras a la realidad, y simplificando la ejecución, ya que el edificio estaba en uso durante la obra y algunos paramentos se encontraban revestidos con paneles fenólicos o madera.

Las obras de reparación de los elementos de hormigón de la estructura afectados consistieron de manera genérica en las siguientes actuaciones:

Inicialmente se procedió a sanear las superficies de Hormigón mediante el picado con martillo eléctrico de baja potencia (1500 w), hasta conseguir un soporte sano y exento de zonas desprendidas. En algunas zonas el martillo penetraba fácilmente, pero en otras había que abandonar el picado ante la dureza extrema de la superficie del hormigón.

Una vez saneados los volúmenes se limpiaban las superficies mediante chorreo de agua a presión, de al menos 450 bares, añadiendo arena silícea para limpiar las armaduras.

La Regeneración de Volúmenes de hormigón eliminados se realizó mediante gunitado de mortero de cemento resistente al agua del mar, áridos silíceos, polímeros, fibras y aditivos inhibidores de la corrosión, de alta resistencia mecánica y de alta adherencia al hormigón y a las armaduras existentes.

Por último se aplicó una protección anticarbonatación de mortero, a base de resinas acrílicas en dispersión acuosa, sobre una imprimación de pintura de emulsión sintética elástica a base de estireno-butadieno.

La intensidad en las tareas de reparación de los elementos de hormigón, consideramos que dependían del grado de alteración o tipo de daño que presentaban, y la clasificamos en tres niveles en función de la profundidad que había que alcanzar en la eliminación y resanado de material, leve hasta 1 cm, medio de 1 a 3 cm, y grave de 3 a 6 cm.

En el caso de las armaduras, planteamos que en la medida que se eliminaban los espesores de hormigón deteriorado y quedaban las armaduras al aire, se comprobara el grado de corrosión que tenían, de forma que si la pérdida de sección superaba el 5% se suplementara la armadura con barras corrugadas de diámetro igual a las originales en armadura longitudinal y en cercos. En cualquier caso, se indicó en obra que previo a la reconstrucción de los volúmenes de hormigón eliminados en la limpieza, se procediera a pasivar las armaduras mediante revestimiento anticorrosivo bicomponente a base de resinas sintéticas, cemento y árido fino.

En el interior del edificio las actuaciones previstas tenían un carácter leve, es decir, de menos de 1 cm de espesor, pero en obra procedimos a realizar medidas de la carbonatación en todos los elementos constructivos prácticamente, en zonas situadas en el tercio inferior y el tercio superior de cada pilar y muro de sótano, para comprobar si era preciso intensificar en algunas zonas la actuación, reducirla o anularla.

El presupuesto de ejecución material de proyecto se elevó a 980.397,25 euros, aunque en el transcurso de la obra, los nuevos datos obtenidos de la investigación realizada nos condujeron a modificar la intensidad de la actuación reduciendo al final el presupuesto y

permitiéndonos sustituir las carpinterías y los vidrios para mejorar la eficiencia energética y habitabilidad del edificio.

Las actuaciones que se realizaron en el transcurso de la obra fueron:

- Se comenzaron los trabajos por el exterior en las **fachadas**, eliminándose los materiales del peldañado del podio del soportal de planta baja, y protegiendo la carpintería con paneles de madera. Se picaron los volúmenes de hormigón carbonatado, se pasivaron las armaduras y se regeneraron las secciones con morteros poliméricos, disponiendo una nueva armadura en todos los pilares de planta baja que configuran el perímetro del espacio porticado.

La zona correspondiente a **cantos de forjados** no precisó de suplemento de armaduras al detectarse que la pérdida de sección en las existentes es inferior al 5% del volumen total.

- En paralelo se realizó una investigación minuciosa en el interior, midiendo recubrimientos y espesores de carbonatación en elementos estructurales, llegándose a la conclusión de que el **estado del hormigón era bastante bueno**, y que puntualmente había una serie de elementos que sí presentaban un grado de deterioro medio o alto: 4 pilares y tres pantallas en sótano y semisótano, tres pilares interiores en planta baja con valores de carbonatación de hasta 3 cm, un único pilar en planta primera y dos en la segunda y casi todas las pantallas de los cerramientos hacia el interior, correspondiendo en general a elementos situados en zonas muy expuestas a la humedad en zona de fachada y cercanas a tuberías de evacuación de aguas pluviales.

Los valores de **recubrimiento** de armaduras medidos en toda la obra y en un mismo elemento eran muy variables, casi 1 cm en algunas zonas y hasta 8 cm en otras, lo que prueba la inexistencia de separadores en la ejecución.

- Se planteó en el **sótano** un nuevo nivel de intensidad, el **básico**, eliminando del nivel leve la fase de picado de 1 cm bastante destructiva, en aquellos elementos en los que no se detectó indicios de carbonatación, y consistente en un chorreo con arena para eliminar pinturas y capas superficiales del hormigón, un tratamiento anticarbonatación y la aplicación de una pintura especial impermeable al CO₂.
- En la zona porticada de planta baja, en la **cara inferior del forjado** techo se procedió a sanear el hormigón, pasivar las armaduras existentes y reponer secciones mediante la aplicación de morteros poliméricos, y se colocaron bandas de fibra de carbono adheridas arriostrando el perímetro.
- Las **pantallas** que se prolongan por encima de la planta de cubiertas presentaban un alto grado de deterioro, por ello, se prescribió se dispusieran nuevas armaduras en las dos caras formando un cajón que envolviese al soporte sano que quedase tras el saneado, ancladas en el forjado en perforaciones tomadas con resina epoxi.

En el transcurso de la obra pudimos comprobar que este Edificio, de Hormigón visto situado en un ambiente marino muy agresivo, había logrado mantener adecuadamente las características que lo hacen apto para dar respuesta a los requisitos básicos de calidad de la edificación en estos 35 años de vida en toda la estructura a excepción de los elementos de fachada, la cual sufre la exposición directa al ambiente, sin protección, y con espesores de recubrimiento de las armaduras bajos.

Podemos afirmar que si se hubiesen impermeabilizado adecuadamente la cubierta y las fachadas, y se hubiesen sellado y reparado las carpinterías, si se hubieran ejecutado simples tareas de mantenimiento, el edificio hubiera soportado aún más años sin perder su cumplimiento con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad.

He tenido la oportunidad de comprobar en edificios más recientes, de los años 90 y 2000, que aunque la normativa esté evolucionando, la calidad de las estructuras de Hormigón

armado no está mejorando, y que es frecuente encontrar lesiones en ellos derivadas de insuficientes recubrimientos, de inadecuada puesta en obra, o de falta de mantenimiento.

Un ejemplo de este hecho se localiza muy cerca del edificio María Auxiliadora, otro edificio administrativo de uso público, de Hormigón visto blanco construido en 1999, con evidencia de corrosión de las armaduras en fachadas, en el que hemos intervenido para adecuarlo a la nueva normativa de protección contra incendios y accesibilidad. En él se localizan zonas donde la armadura está al aire ya corroída y numerosas fisuras.

También en Huelva en un recién estrenado centro comercial y multicines, construido por una empresa nacional de una presunta elevada solvencia técnica, detectamos daños, lesiones y heterogeneidades derivadas de una deficiente puesta en obra, y medimos recubrimientos en pilares de 1,6 cm y hasta 11 cm, y espesores carbonatados de hasta 2 cm en sólo tres años de vida útil.

5.- CONCLUSIONES

La instrucción del hormigón estructural española ha ido evolucionando a lo largo de la historia desde 1939, ampliando las prescripciones relativas a la durabilidad de las estructuras, dando lugar, por primera vez en la EHE de 1998, a un capítulo exclusivo. Esta evolución se ha producido en la medida que la práctica de la obra construida ha ido advirtiendo de las características que hay que controlar para conseguir un hormigón compacto, resistente, poco atacable y durable, haciendo hincapié en los recubrimientos, la dosificación, la puesta en obra y curado, la posibilidad de usar protecciones adicionales en las armaduras y la necesidad de realizar unas labores mínimas de mantenimiento que prolonguen la vida útil de las estructuras.

Pero en las obras de Hormigón armado la puesta en obra es determinante, es preciso contar con operarios que tengan una formación adecuada y que se impliquen en la calidad de los trabajos, y con empresas que miren por la calidad en igual medida que por el beneficio económico, y paralicen los trabajos cuando las condiciones meteorológicas sean adversas, dediquen inversión en mejorar los encofrados, usar separadores, etc.

Nos encontramos con obras de los años 70 mejor ejecutadas que las que hacemos desde los últimos 20 años, ya que en esa época los trabajadores tenían una mejor cualificación y la construcción podía durar el tiempo que precisara.

Tenemos a nuestra disposición un material de construcción que podría ser durable hasta 100 años con unas pocas precauciones y acciones de tipo preventivo: desde la fase de proyecto, orientando el diseño del edificio y las soluciones constructivas a la protección de la estructura y retraso de los mecanismos de deterioro; la fase de construcción, mejorando la puesta en obra y el curado de Hormigón; y la fase de uso, reparando elementos que se deterioren y que puedan causar daños en la estructura.

Es muy importante asimismo, intensificar el control de la ejecución, procurando que en la dirección de obras se controlen exhaustivamente las dosificaciones, el uso de separadores que garanticen los recubrimientos de las armaduras, el vibrado en función de la consistencia, y que se detenga la obra en caso de altas o bajas temperaturas y fuertes vientos.

En cualquier caso los estudios de investigación y las normas de construcción actuales advierten que es siempre más sostenible Rehabilitar que demoler y reconstruir, pero sobretodo es esencial MANTENER Y PREVENIR.

6.- BIBLIOGRAFIA

- HA 61. Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y el Cemento. Madrid 1963.
- EH 68. MOPU. Madrid, 1969
- EH 73. MOPU. Madrid, 1973
- EH 82. MOPU. Madrid, 1982
- EH 88. MOPU Madrid 1989
- EH 91. MOPU Madrid 1989
- EHE 98. Ministerio de Fomento. Madrid, 1999
- EHE 08 Ministerio de Presidencia. Madrid, 2008
- UNE 41805-6 IN Informe. Diagnostico de Edificios. Parte 6: Estructuras de Hormigón.
- Mas-Guindal Lafarga, Antonio José. La reparación de la estructura. Manuales técnicos 2. ISBN 84-88496-29-X Madrid 1998
- Guía para la Inspección y evaluación preliminar de estructuras de hormigón en edificios existentes. Instituto valenciano de la Edificación. Valencia, 2006. ISBN 84-96602-21-4