

IMPORTANTE

Los datos, conclusiones y/o recomendaciones que se incluyen en la presente ficha son únicamente orientativas, responden a modelos teóricos y tienen carácter meramente divulgativo. Es necesario que, en cualquier caso, se proceda a su comprobación acudiendo a las normativas que resulten de aplicación a cada caso concreto, sin que, por tanto, deban adoptarse decisiones de cualquier tipo exclusivamente a partir de su contenido.

Deformaciones y recubrimientos en Estructuras

Objeto y descripción del fenómeno

1.- Flechas.

La excesiva deformabilidad de los **forjados** de edificación; básicamente por la presencia de vigas planas, es en la actualidad en España, posiblemente una de las patologías más habituales y frecuentes que se presenta en la ya amplia gama de problemas que sufren las estructuras de edificación.

El ya irrenunciable deseo de los usuarios y de los constructores, de poseer techos con intradós plano en los edificios que usan, y en especial en las viviendas, ha llevado a que la práctica totalidad de los edificios de viviendas, residenciales y de oficinas se construyan en nuestro país desde hace unas décadas hasta la actualidad sea con forjados planos.

Estos forjados suelen estar resueltos, en gran número, por estructuras porticadas de pilares y vigas planas de Hormigón Armado (H.A.), con forjados del mismo espesor que las vigas, o por forjados bidireccionales también conocidos como forjados reticulares, o más técnicamente como forjado sin vigas o placas aligeradas sobre apoyos aislados. Son ya menos usuales los forjados de losas macizas de H.A.

En estas posibles soluciones enunciadas, el arquitecto siempre se encuentra con el grave inconveniente de disponer de poco canto en el forjado y en consecuencia poca inercia de la sección resistente para los elementos sometidos a flexión, mientras hay cada vez más exigencias en utilizar mayores luces y mayores cargas.

En buena medida los arquitectos deben concienciarse y volver a recordar que la flecha máxima de una viga sometida a flexión simple con una carga uniformemente distribuida en su directriz viene dada por la siguiente ecuación de la Resistencia de Materiales:

$$f = k \cdot \frac{q \cdot L^4}{E \cdot I_{ef}}$$

donde:

- f Es la flecha máxima en el centro luz.
- k Coeficiente adimensional dependiente de las condiciones de contorno (tipo de apoyos); y que puede variar entre 5/384 para una viga biapoyada y 1/384 para una viga biempotrada.
- L Luz a ejes de apoyo.
- q Carga uniformemente repartida sobre el nervio; con valores entre 7 y 8 KN/m. (con banda de carga de 1 m).
- E Módulo de elasticidad longitudinal ó módulo de Young, del material (hormigón, E≈25.000 a 30.000 N/mm².)
- I_{ef} Inercia efectiva de la sección plana. La inercia se supone constante y la directriz recta en toda la longitud de la barra. (Los valores suelen estar entre 4x10⁸ y 5x10⁸ mm⁴, por metro de ancho; para nervios convencionales de forjados unidireccionales de hormigón armado).



A igualdad del resto de parámetros, los factores que más influyen en el valor de la flecha son la luz "L" ya que está en el numerador y va elevada al exponente cuatro, y la inercia efectiva, que está en el denominador. Si aumenta la luz aumenta la flecha, y si aumenta la inercia disminuye la flecha.

La inercia efectiva es función básicamente de la inercia bruta, y esta última tiene la siguiente expresión:

$$I_b = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

donde:

- b Es el ancho de la sección, sensiblemente rectangular.
- h Es el canto de la sección.

Luego el canto "h" de la sección y la luz "L" del vano son los parámetros más determinantes a la hora de controlar la flecha de cualquier elemento flectado; y en especial de los forjados de edificación.

El resto de parámetros (K, b, q y E) influyen en menor medida.

La flecha total de un forjado de H.A. se alcanza aproximadamente a los 60 meses (5 años), donde ya se han producido las flechas instantáneas y las diferidas. Si la flecha activa o la total son excesivas, el CTE las limita en unos intervalos que van desde L/500 a L/300, (aquí la "L" no suele coincidir con la de la fórmula anterior, ya que esta última "L" puede ser la luz del nervio, o casi siempre es la dimensión de la **diagonal** del recuadro que se está estudiando, según el art. 4.3.3.1-4 del DB SE); los elementos cerámicos de compartimentación y cerramiento sufren fisuraciones en distinto grado, ocasionando perjuicios que pueden ser graves para los usuarios, los constructores y los técnicos.

La reparación de forjados con flechas excesivas es en general cara, molesta y no del todo efectiva, por lo que es primordial que los arquitectos adopten medidas efectivas a nivel de proyecto. Esta toma de medidas es importante, máxime porque el valor económico de los forjados se puede estimar en un 50% del presupuesto de ejecución material de la estructura, y esta es sobre un 25% del PEM de toda la obra; y además se puede estimar que el PEM de toda la obra es sobre un 30% del precio final que paga un propietario por su vivienda o edificio; es decir que aproximadamente el coste del forjado sobre el **precio final de venta** de un edificio estándar es:

$$PEM_{forjado} = (0,5 \cdot 0,25 \cdot 0,3) \cdot 100 = 3,75\% \text{ (PrecioFinal)}$$

No tiene sentido el tratar de ahorrar dinero en una partida que es aproximadamente el **3.75% del precio final del bien inmueble**, cuando sobre este elemento recae tanta responsabilidad, pues sobre él descansan todas las vidas y haciendas.

Uno de los problemas que afectan a la durabilidad de las estructuras de hormigón, es la corrosión del acero en las piezas de hormigón armado.

El factor principal que limita la durabilidad de las estructuras de hormigón armado es la corrosión de las armaduras de acero convencional. La falta de recubrimiento de las armaduras en ambientes marinos se agudiza por la presencia crítica de sales, sulfatos y cloruros.



El ambiente marino para piezas exteriores, sin protección, viene recogido en la Instrucción Española con la catalogación de IIIa, que se toma para edificaciones ubicadas a una distancia inferior a 5,00 km de la línea costera.

Los recubrimientos mínimos (rmi) están recogido en la Tabla 37.2.4 (1a, 1b y 1c) de la EHE, en función de la clase de exposición, de la resistencia característica del hormigón, y del sistema de fabricación de los elementos ("in situ" o prefabricados). Hay dos factores que definen este fenómeno:

2. Corrosión-Durabilidad

Químico

Este fenómeno hace que aumente la permeabilidad de hormigón y su porosidad afectando a la protección de las armaduras. Esta agresividad por una lado produce una degradación del hormigón por la acción de las sales agresivas y por otro los procesos de corrosión debidos a la humedad ambiental y el aporte de cloruros.

Las causas de la corrosión de un hormigón armado son principalmente:

1. La carbonatación del recubrimiento.
2. El ataque por cloruros, que atraviesa el recubrimiento y afecta a las armaduras.

Este tema se solventa usando un hormigón de buena calidad y un recubrimiento adecuado al ambiente en el que se encuentra la pieza estructural.

Este proceso se agudiza sobre todo en los voladizos de las terrazas y aleros, los cuales se encuentran totalmente a la intemperie y en especial cuando en su ejecución no se colocan los separadores necesarios, ni se atan adecuadamente las armaduras de negativos.

Geométrico

El margen de recubrimiento (D_r) depende del nivel de control establecido para la ejecución, siendo 0 mm para elementos prefabricados con nivel de control intenso, 5 mm para elementos "in situ" con nivel de control intenso, y 10 mm en los demás casos.

Para los casos más habituales en estructuras de edificación (hormigón HA-25 en elementos no prefabricados, con nivel de control de ejecución normal) los valores del recubrimiento nominal en función de las clases de exposición son los siguientes:

CLASE DE EXPOSICIÓN	I	IIa	IIb	IIIa	IIIb	IIIc	IV	Qa	Qb	Qc
RECUBRIMIENTO NOMINAL (mm)	25	30	35	45	40	40	40	40	(*)	(*)

(*) Deberá ser fijado por el proyectista para garantizar una protección adecuada.

La especificación de la clase de **exposición IIIa** trae consigo las tres siguientes consecuencias limitativas:

1. No se podrá establecer para ese hormigón un nivel de control REDUCIDO, lo cual complica y encarece innecesariamente las obras pequeñas.



2. La resistencia característica del hormigón probablemente será mayor de 30 N/mm², por lo que se pueden originar discusiones económicas con la empresa constructora y/o la suministradora del material.
3. El recubrimiento nominal de las armaduras debe ser igual o superior a 40 mm, con las dificultades técnicas que esto implica (recubrimiento = distancia entre cara de cercos y superficie del hormigón).

Según la EHE, la clase de **exposición IIIa** corresponde a las **estructuras exteriores**, construidas en la banda costera menor de 5 km. En obras convencionales de edificación, aunque la norma permite utilizar otros ambientes y recubrimientos si están al exterior o interior, la recomendación es utilizar el tipo IIIa.

La mayoría de los casos de las armaduras de acero que se utilizan en hormigón armado no necesita ningún tipo de protección adicional frente a la corrosión. Esto es debido a la alta alcalinidad del hormigón que favorece la formación de finas capas de óxido estable que pasivan el acero e impide que progrese la corrosión.

Sin embargo, pueden darse ciertas circunstancias en las que no tenga lugar esta pasivación del acero o que si se produce, no sea efectiva suficientemente para impedir los fenómenos de corrosión. Los casos mas corrientes son

1. Extrema porosidad del hormigón
2. Grietas
3. Falta de recubrimiento.
4. Huecos de Grava.
5. Ambientes muy agresivos.

Una vez que se ha iniciado la corrosión de las armaduras de una estructura de hormigón armado su reparación suele ser costosa y difícil, de ahí que en casos de exposición extrema se utilicen específicamente las armaduras (armaduras galvanizadas).

La reparación de elementos afectados se realiza mediante la retirada del hormigón fisurado, saneo de armaduras en el caso de estar afectadas, preparación de la superficie y reconstrucción de la pieza, mediante productos de reposición (resinas y pasivadores).

El tema del recubrimiento y corrosión de estructuras de hormigón armado ha aumentado en interés, entre otras cosas por el aumento de obras de edificación cercanas a la línea litoral.

Causas

Las causas principales de la excesiva deformabilidad de los actuales forjados de edificación son básicamente:

- 1.- Inadecuada relación luz/canto útil; (L/d).
- 2.- Cargas de cerramientos no contempladas en el proyecto de forma adecuada.
- 3.- Voladizos sin zunchos de borde.
- 4.- Descimbrados y apeos inadecuados.
- 5.- Disposiciones inadecuadas de los negativos y sus longitudes en los voladizos.

Las causas principales de la excesiva corrosión de armaduras en las estructuras de hormigón armado de edificaciones, ubicadas en ambientes marinos, son básicamente:



1. Defectos de proyecto:

Elección inadecuada del proyectista del ambiente a aplicar a la estructura. En el caso de ambiente marino sería el IIIa, para edificaciones situadas a menos de 5 km de la costa y que se encuentre a la intemperie. Error en el valor del recubrimiento nominal previsto por el proyectista, punto 37.2.4. EHE.

Falta de definición en los planos de estructuras, deficiente cuadro de características, en lo referente a hormigón y acero.

Falta de definición de separadores.

2. Defectos de ejecución:

Ausencia de técnico en la inspección de la armadura previa al hormigonado.

Dimensiones y falta de normalización en separadores.

Ausencia de piezas y elementos de unión previo al hormigonado.

Propuestas de prevención

1. A la inadecuada relación luz/canto total (L/h), se debe recurrir a la EHE-08, en su Artículo 50.2; donde se da la siguiente fórmula:

$$h_{\min} = \delta_1 \cdot \delta_2 \cdot \frac{L}{C} = \sqrt{\frac{q}{7}} \cdot \sqrt{\frac{L}{6}} \cdot \frac{L}{C}$$

Esta fórmula es válida para sobrecargas totales de uso inferiores a 4 KN/m²; (q ≤ 4 KN/m²) y luces L ≤ 7 metros.

En los casos habituales δ₁ y δ₂ suelen tener valores próximos a la unidad por lo que:

$$h_{\min} \approx \frac{L}{C}$$

El parámetro "C", es un coeficiente adimensional tabulado en la tabla 50.2.2.1.b. de la EHE-08, y suele tener valores comprendidos entre 17 a 24, siendo 20 a 22 los más corrientes.

Por todo ello se puede estimar que el canto mínimo de un forjado de edificación de H.A., ya sea unidireccional o bidireccional que no va a plantear problemas importantes de flecha debe ser del orden de:

$$h_{\min} \approx \frac{L_v}{17} \text{ a } \frac{L_v}{24}$$

Si se esta en el caso de voladizos la relación canto-luz, ha de ser del orden de:

$$h_{\min} \approx \frac{L_v}{6} \text{ a } \frac{L_v}{8}$$

2. Cuando el peso propio (pp) de un cerramiento ó compartimentación interior (tabiquería) es mayor en alzado a 1,20 KN/m² (120 Kp/m²), la tabiquería no se puede considerar en el cálculo de las cargas permanentes como una carga uniformemente distribuida en superficie, sino que se debe considerar como una carga lineal concentrada, por lo que es muy recomendable disponer de un zuncho, brochal o viga que sea capaz de soportar esta carga lineal y esté convenientemente diseñada.



3. Es de buena práctica de diseño estructural y constructiva el disponer de zunchos de borde en la punta de los voladizos, ya que cumplen muchas funciones, pero las más importantes son la de compatibilizar las deformaciones de los nervios y repartir cargas verticales tales como los pesos propios de los cerramientos ó antepechos o las sobrecargas de uso de 2 KN/m que establece el CTE en los bordes de los elementos volados. Estos zunchos no se consideran normalmente en el cálculo y tienen una sección y armado mínimo constructivo.
4. Los elementos de H.A. que trabajan a flexión, tales como los forjados de H.A. deben estar apeados desde su hormigonado un tiempo que va desde un mínimo de 1 semana a 4 semanas. En el Artículo 74º de la EHE-08 se proponen en la tabla 73 unos valores para los periodos de desencofrado de distintos elementos de H.A.

También en el Artículo 74º de la EHE-08 se propone la fórmula clásica:

$$j = \frac{400}{\left(\frac{Q}{G} + 0,5\right) \cdot (T + 10)}$$

donde:

- j Número de días que debe permanecer apeado el elemento.
- Q Carga total por metro cuadrado que actuará posteriormente en el elemento.
- G Carga por metro cuadrado que actúa en el elemento en el momento del desencofrado, incluido el peso propio del forjado.
- T Temperatura media en °C.

En viviendas el cociente Q/G es aproximadamente 1,50; de manera que el periodo en días apeado, para un forjado convencional de H.A. es:

Temperatura media °C	Tiempo en días (j)
2 °C	17
8 °C	12
16 °C	8
20 °C	7

El orden en la retirada de los puntales en vanos centrales o de extremo debe ser del centro luz hacia los apoyos, y para el caso de los voladizos el orden es de la punta del voladizo hacia el apoyo.

Se debe intentar que los elementos entren en carga de la misma manera en que han sido calculados y armados, siguiendo sus leyes de flectores.

5. Las disposiciones de las armaduras de negativos en los voladizos es fundamental para su correcto funcionamiento, máxime pues el voladizo es un elemento isostático.

Se debe evitar su caída o movimiento durante el proceso de hormigonado; para ello deben estar las armaduras perfectamente atadas a otros elementos tales como mallas ó casquillos de apoyo.



En la figura 1, se muestra el esquema tipo básico de armado longitudinal de las armaduras de negativos para un voladizo y su vano adyacente.

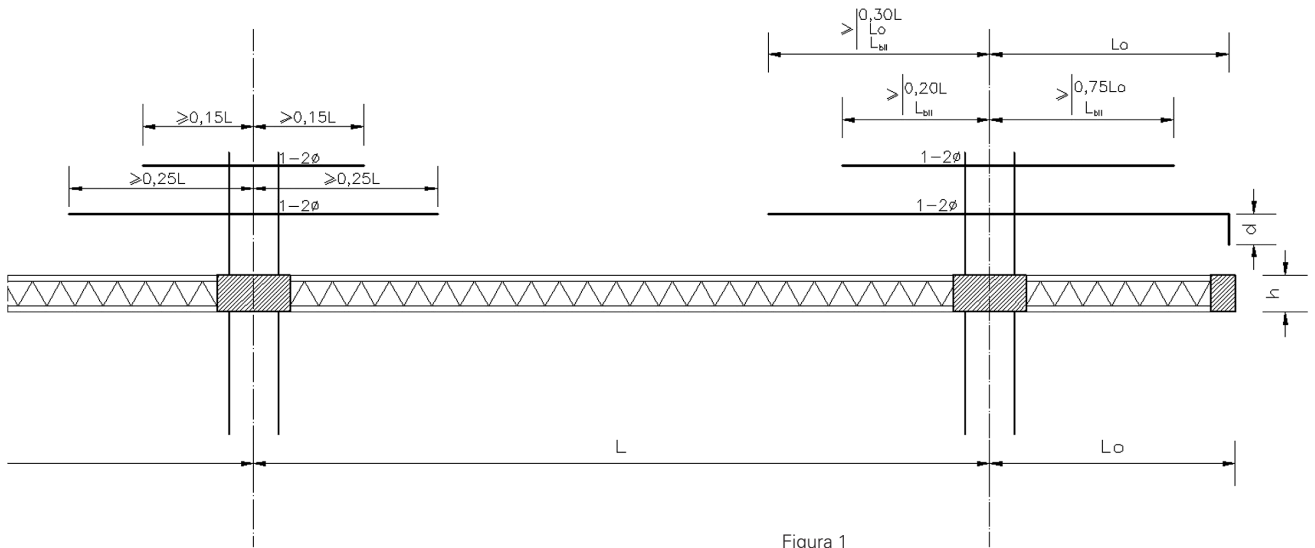


Figura 1

Para prevenir una adecuada realización de los recubrimientos en ambientes marinos se deben seguir los siguientes pasos:

1. Utilización de una adecuada relación agua cemento. ($A/C < 0,50$).
2. Correcta dosificación del hormigón. ($C > 300$ kg cemento/ m^3)
3. Recubrimientos mínimos en ambientes marinos expuestos. ($r > 4,00$ cms.)
4. Correcto curado del hormigón. (Debe de regarse por lo menos una vez al día, durante 14 días.)
5. Correcto vibrado del hormigón, para conseguir buena compacidad, para evitar porosidad.
6. Correcto atado de armaduras y colocación de separadores para calzar las armaduras.
7. Evitar desencofrados prematuros. ($t > 72$ horas.)

Referencias bibliográficas y normativa aplicación

- 1) CTE Seguridad Estructural: Bases de Cálculo y Acciones en la Edificación. Ministerio de Vivienda.
- 2) EHE-08. Instrucción de Hormigón Estructural. Ministerio de Fomento.
- 3) Cálculo, construcción, patología y rehabilitación de forjados de edificación. José Calavera Ruiz. Intemac. Madrid. 5ª Edición.
- 4) Patología de Estructuras de Hormigón Armado y Pretensado. José Calavera Ruiz. Intemac. Madrid.



Estudio y realización de la ficha:

Antonio González Sánchez, *Dr. Arquitecto C.O.A. Comunidad Valenciana.*

Alfonso Gutiérrez Martín, *Arquitecto C.O.A. Málaga.*

Antonio Maciá Mateu, *Arquitecto Coordinador C.A.T. C.O.A. Comunidad Valenciana.*

Coordinación y redacción Asemas: Eleuterio Sánchez Vaca y Javier Arcones Benito. *Departamento de Servicios Técnicos.*

Coordinación CSCAE: Antonio Cerezuela Motos. *Coordinador Área Técnica.*

