

Determinación del recubrimiento de las armaduras en construcciones de hormigón armado

Apellidos, nombre	Lliso Ferrando, Josep Ramon ¹ (jollife2@arq.upv.es) Valcuende Payá, Manuel ¹ (mvalcuen@csa.upv.es)
Departamento	¹ Departamento de Construcciones Arquitectónicas
Centro	Escuela Técnica Superior de Arquitectura Universitat Politècnica de València

1 Resumen de las ideas clave

En el presente artículo se expone la **importancia del recubrimiento de las armaduras en las construcciones de hormigón armado y la necesidad de definirlo adecuadamente durante la fase de diseño, con el fin de garantizar una vida útil acorde al uso previsto de la estructura.**

La elección del recubrimiento es una decisión que debe tomarse de manera fundamentada en la etapa de proyecto y, además, es imprescindible asegurar su cumplimiento durante la ejecución de la obra. Aunque este proceso pueda parecer ambiguo o incluso arbitrario, una elección incorrecta puede provocar una degradación acelerada de las armaduras, reduciendo significativamente la durabilidad de la estructura. Estos errores, en apariencia menores, pueden derivar en un aumento de los costes de mantenimiento o reparación, pérdida de funcionalidad, daños estéticos o, incluso, en los casos más graves, comprometer la seguridad estructural de la edificación.

Para comprender la relevancia de estos conceptos y establecer un procedimiento adecuado, este objeto de aprendizaje presenta, en primer lugar, una breve introducción teórica, en la que se definen los principales términos a considerar, como el recubrimiento nominal y el recubrimiento mecánico. A continuación, se describe el procedimiento establecido en el Código Estructural para determinar con garantías ambos parámetros en las estructuras de hormigón armado (Ministerio de Transportes Movilidad y Agenda Urbana, 2021).

Finalmente, con el objetivo de evaluar la correcta asimilación de los contenidos desarrollados, se analizarán diversos ejemplos prácticos.

2 Objetivos

Una vez leído con detenimiento este documento, será posible **determinar el recubrimiento nominal y recubrimiento mecánico que deben tener las construcciones de hormigón armado en función del uso (vida útil) y las condiciones de exposición a las que estarán sometidas.**

3 Introducción

Durante las primeras horas, y tras el proceso de hormigonado, la presencia combinada de agua y cemento produce la hidratación de este último. Esta reacción química se caracteriza por la liberación de una importante cantidad de hidróxido de calcio $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$, lo que confiere a la disolución de poro existente en la matriz cementante un elevado pH (valores por encima de 12,5) (Fernández Canovas, 2003; García Meseguer, et al., 2009). Esta alta alcalinidad de la disolución de poro favorece la formación de una capa de óxidos sobre las armaduras embebidas como consecuencia de la reacción del hierro con el oxígeno denominada capa pasiva (Bertolini et al., 2013). Esta capa previene la corrosión de las armaduras conduciendo a que el metal se sitúe en una condición de “pasividad” de acuerdo con los diagramas de Pourbaix (1974). Bajo esta situación, la intensidad de corrosión y el daño por corrosión de estas puede ser considerado despreciable. La protección que otorga la capa pasiva puede ser definida como una barrera electroquímica.

Sin embargo, la estabilidad de esta barrera no es eterna, y un descenso de la alcalinidad de la disolución de poro del hormigón a la profundidad de las armaduras (valores por debajo de 9) como la originada por la carbonatación del hormigón, o la llegada de iones despaivantes como los cloruros pueden conducir a la destrucción generalizada o puntual de la capa pasiva, respectivamente (Bertolini et al., 2013).

El recubrimiento del hormigón actúa como barrera física que protege a las armaduras y que permite mantener la estabilidad de la capa pasiva. Sin embargo, la permeabilidad del hormigón no impide la penetración de agentes agresivos que pueden generar la alteración de la barrera electroquímica y propiciar la aparición de procesos de corrosión en las armaduras.

Para garantizar la eficacia del recubrimiento, es necesario evaluar varios criterios fundamentales.

- **Calidad del Hormigón:** la resistencia y permeabilidad del hormigón influyen en la protección de las armaduras embebidas. Un hormigón con alta porosidad facilitará la penetración y difusión de sustancias agresivas y aumentará el riesgo de corrosión. Un hormigón menos poroso dificultará la difusión de gases o agua y aumentará el tiempo necesario para que estos alcancen las armaduras (Fernández Canovas, 2003; García Meseguer, et al., 2009).
- **Espesor del recubrimiento:** la normativa vigente establece los espesores mínimos de recubrimiento según la exposición ambiental y las condiciones de uso de una construcción. Estos valores están regulados por códigos como el ACI 318 o el Eurocódigo 2 y las normas nacionales de cada país, siendo en el caso de España, el Código Estructural (Ministerio de Transportes Movilidad y Agenda Urbana, 2021).

El Código Estructural, en su Capítulo 9 señala los aspectos más importantes que se deben tener en cuenta para garantizar una durabilidad adecuada de las construcciones de hormigón armado (Ministerio de Transportes Movilidad y Agenda Urbana, 2021). En el Artículo 43 de este capítulo se señalan las condiciones referentes a la calidad del recubrimiento, indicando aspectos como la resistencia característica mínima o parámetros relacionados con la dosificación del hormigón, señalando cantidades mínimas de cemento o relación agua/cemento máxima. Por otro lado, en el Artículo 44 de este mismo capítulo, se recogen los recubrimientos mínimos que se deben mantener en función de las condiciones de uso y exposición de una construcción de hormigón armado. Seleccionar este recubrimiento de manera precisa, y garantizar que durante el proceso de ejecución se mantienen permitirá garantizar una vida útil adecuada y prevenir el deterioro acelerado del hormigón armado, evitando así costosas reparaciones y garantizando la seguridad estructural.

4 Desarrollo

En primer lugar, se deben distinguir tres conceptos que a continuación se detallan: recubrimiento mínimo, recubrimiento nominal y recubrimiento mecánico.

4.1 Recubrimiento mínimo

Este parámetro hace referencia al recubrimiento mínimo de cualquier armadura, incluidos los estribos. Este recubrimiento no puede ser inferior al diámetro real de la barra, a 1,25 veces el tamaño máximo del árido, y al valor correspondiente de la Tabla 1 (adaptada según Tablas 44.2.1.1.a y b del Artículo 44.2 del Capítulo 9 del Código Estructural) mientras que, en elementos enterrados hormigonados contra el suelo, el recubrimiento mínimo será de 70 mm (Ministerio de Transportes Movilidad y Agenda Urbana, 2021).

Ambiente	f_{ck} (MPa)	Tipo de cemento	Vida útil	
			50 años	100 años
X0	$f_{ck} \geq 25$	Cualquiera	15	25
XC1, XC2, XC3	$25 \leq f_{ck} \leq 40$	CEM I	15	25
		Otros	20	30
	$f_{ck} \geq 40$	CEM I	10	20
		Otros	15	25
XC4	$30 \leq f_{ck} \leq 40$	CEM I	20	30
		Otros	25	35
	$f_{ck} \geq 40$	CEM I	15	25
		Otros	20	30
XS1	$f_{ck} \geq 30$	CEM II/A-D, B-V, CEM III/A, CEM III/B, CEM IV	25	30
		CEM II/B-S, B-P	30	35
		Otros	40	65
XS2	$f_{ck} \geq 30$	CEM II/A-D, B-V, CEM III/A, CEM III/B, CEM IV	30	35
		CEM II/B-S, B-P	35	40
		Otros	45	(*)
XS3	$f_{ck} \geq 35$	CEM II/A-D, B-V, CEM III/A, CEM III/B, CEM IV	45	50
		CEM II/B-S, B-P	65	70
		Otros	(*)	(*)
XD1, XD2, XD3	$f_{ck} \geq 30$	CEM II/A-D, B-V, CEM III/A, CEM III/B, CEM IV	35	40
		CEM II/B-S, B-P	40	45
		Otros	(*)	(*)
XA1	$f_{ck} \geq 30$	CEM II/A-D, B-S, B-P, B-V, CEM III, CEM IV	40	55
		Otros	(*)	(*)
XA2	$f_{ck} \geq 30$	Cualquiera	(**)	(**)
XA3	$f_{ck} \geq 35$	Cualquiera	(**)	(**)
XF1, XF3	$30 \leq f_{ck} \leq 40$	CEM III	25	50
		Otros	20	35
	$f_{ck} \geq 40$	CEM III	15	25
		Otros	10	20
XF2, XF4	$30 \leq f_{ck} \leq 40$	CEM II/A-D	25	50
		CEM III	40	(*)
		Otros	20	40
	$f_{ck} \geq 40$	CEM II/A-D	15	35
		CEM III	20	40
		Otros	10	20
XM1			(***) +5	(***) +5
XM2			(***) +10	(***) +10
XM3			(***) +15	(***) +15

Tabla 1. Recubrimiento mínimo (mm). Adaptación Código Estructural (2021).

4.2. Recubrimiento nominal

Este recubrimiento hace referencia a aquel que se debe especificar en los proyectos y que debe servir para definir los separadores, verificándose lo especificado en la Ecuación 1:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta_c$$

Ecuación 1. Cálculo del recubrimiento nominal.

donde c_{min} hace referencia al recubrimiento mínimo seleccionado de la Tabla 1, mientras que Δ_c hace referencia al margen o incremento del recubrimiento en función del proceso de ejecución, de valor distinto según cada caso:

- 0 mm en elementos prefabricados con control intenso de la ejecución;
- 5 mm en elementos fabricados in situ con control intenso de la ejecución;
- 10 mm en el resto de los casos.

Este incremento en el recubrimiento permite corregir posibles errores durante la ejecución¹, deformaciones de las armaduras por distancia entre separadores demasiado grande, etc. Normalmente, y en el caso de obras de edificación, el tercero de los supuestos es el más habitual, ya que no se suele tratar de ejecución de elementos prefabricados, ni es frecuente tampoco llevar a cabo procesos de control intenso de la ejecución.

4.3. Recubrimiento mecánico

Este tercer término hace referencia al recubrimiento que las armaduras de montaje deben tener medido desde su centro de gravedad hasta la cara de acabado de una pieza. Este debe ser estimado a partir del recubrimiento nominal y teniendo en cuenta la presencia de los estribos y el grosor de las armaduras de montaje.

En la Imagen 1 se recoge un resumen de estos tres parámetros.

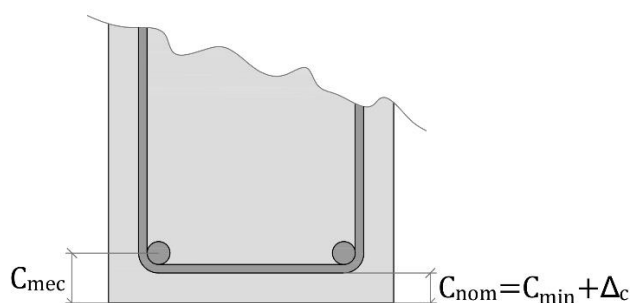


Imagen 1. Esquema de recubrimiento (Elaboración propia, 2025).

¹ El recubrimiento mínimo es aquel que debe cumplirse en cualquier punto de la armadura. Es decir, tras colocar los separadores cumpliendo con el recubrimiento nominal, es posible que entre apoyos la barra fleche un poco debido a su peso y que, por tanto, en alguna zona el recubrimiento sea inferior al nominal, pero nunca debe ser menor que el mínimo.

Además de estas medidas, la selección del recubrimiento adecuado no es solo fundamental en la fase de diseño, sino también durante el proceso de ejecución. Para garantizar el recubrimiento de las armaduras es obligatorio colocar separadores, que deben ser de hormigón, mortero, plástico rígido o un material similar, quedando expresamente prohibido el uso de madera o de cualquier material residual de construcción, aunque sea ladrillo u hormigón. El mismo Código Estructural, en el Capítulo 11, Artículo 49, señala las distancias mínimas que deben existir entre separadores para asegurar el adecuado recubrimiento de todas las armaduras (Ministerio de Transportes Movilidad y Agenda Urbana, 2021).

Por otro lado, durante la fase de vertido y hormigonado, también es fundamental asegurar un compactado adecuado que reduzca la cantidad de vacíos y mejore la adherencia con las barras de refuerzo, reduciendo la porosidad del hormigón y ralentizando cualquier proceso de difusión hacia el interior. Todo esto no solo conducirá a una mejora en el comportamiento frente a la corrosión, sino que mejorará en otros aspectos clave en lo que a durabilidad se refiere, como un menor riesgo de fisuración o un aumento de la resistencia al fuego de la estructura. En caso de incendio, el hormigón actúa como aislante térmico y retrasa el aumento de la temperatura en las barras de acero, evitando la pérdida rápida de resistencia mecánica.

Tras todo esto, ¿crees que serías capaz de determinar de manera adecuada y ajustándote al Código Estructural el recubrimiento de una construcción de hormigón armado? A continuación, se presentan algunos casos prácticos que te pueden servir para autoevaluarte.

5 Caso práctico

5.1 Caso A

Se pide determinar el recubrimiento nominal y mecánico de una serie de jácenas de hormigón armado en contacto con la atmósfera de un edificio de viviendas sobre rasante de tres plantas cuyo esquema de armado se describe en el croquis adjunto (Imagen 2).

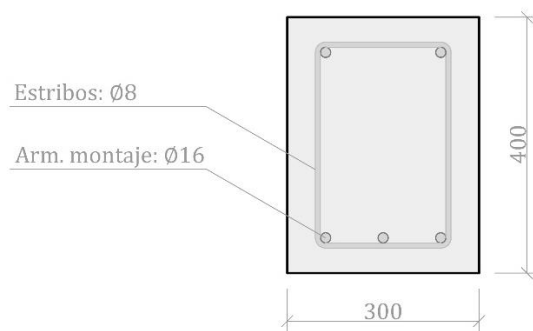


Imagen 2. Esquema jácena de trabajo (Elaboración propia, 2025).

Únicamente se conoce que la resistencia característica definida en proyecto es de 35 MPa y que para la fabricación del hormigón se utilizará un CEM II/B-S. Respecto a la ubicación del edificio, se considerarán dos supuestos:

- *primer supuesto: edificio de viviendas en el Cabañal (barrio costero de la ciudad de Valencia);*
- *segundo supuesto: edificio destinado a uso hospitalario en Córdoba.*

En el primer supuesto, al tratarse de una edificación situada a menos de cinco kilómetros de la línea de costa, pero no expuesta a contacto directo con el agua de mar, y de acuerdo con la Tabla 27.1.a del Código Estructural (Capítulo 7, artículo 27.1), la clase de exposición puede considerarse XS1. Adicionalmente, se considerará también una clase de exposición XC4, correspondiente a la corrosión inducida por carbonatación en elementos expuestos a sequedad y humedad cíclicas, ya que la presencia de dióxido de carbono en la atmósfera existirá independientemente de la presencia combinada de cloruros.

Para la determinación de los recubrimientos mínimos de estos elementos, el Código Estructural señala en su artículo 43.4, que este se puede determinar de acuerdo con la siguiente expresión (Ecuación 2), ya descrita anteriormente:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta_c$$

Ecuación 2. Cálculo del recubrimiento nominal.

Teniendo esto en cuenta, el valor de Δ_c , al tratarse de una construcción realizada in situ donde no se llevará a cabo un control intenso de la ejecución (supuesto habitual en edificación), se considerará un valor de 10 mm. El valor de c_{min} se deberá estimar para cada una de las clases de exposición definidas anteriormente considerando el valor más restrictivo. Para el caso de la clase de exposición XC4, la Tabla 44.2.1.1.a señala que si se considera una vida útil de proyecto de 50 años (habitual para edificación), una resistencia característica del hormigón comprendida entre 25 y 40 MPa (valores habituales en edificación y considerando el dato de 35 MPa definido en proyecto), y suponiendo que no se utiliza un CEM I (CEM II/B-S según enunciado), el recubrimiento mínimo será de 25 mm (Tabla 1). En la clase de exposición XS1, considerando los mismos parámetros que se han señalado anteriormente (vida útil de 50 años y utilización de un cemento CEM II/B-S), el recubrimiento mínimo será de 30 mm (Tabla 1).

Teniendo todo lo anterior en cuenta, y considerando como limitación más restrictiva el recubrimiento mínimo definido para la clase de exposición XS1 (30 mm), el recubrimiento nominal para el primer supuesto será de (Ecuación 3):

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta_c \rightarrow c_{nom} = 30 + 10 = 40 \text{ mm}$$

Ecuación 3. Cálculo del recubrimiento nominal para el Caso A, primer supuesto.

Este valor hace referencia al recubrimiento que debe tener cualquier armadura embebida en el hormigón, sin embargo, el recubrimiento mecánico se corresponde con el centro de gravedad de las armaduras con respecto a la base de la viga. Por tanto, para su cálculo, se deberán tener en cuenta tanto el recubrimiento nominal como los cercos y la mitad de las armaduras longitudinales (Ecuación 4), siendo este igual a:

$$c_{mec} = c_{nom} + \phi_{cercos} + \frac{1}{2}\phi_{arm,long} = 40 + 8 + 8 = 56 \text{ mm}$$

Ecuación 4. Estimación del recubrimiento mecánico a partir del recubrimiento nominal, para el Caso A, primer supuesto.

siendo 8 mm el diámetro de los cercos y 16 mm el diámetro de las armaduras longitudinales, de acuerdo con el croquis del enunciado. Redondeando, y del lado de la seguridad, podría considerarse un recubrimiento mecánico de 60 mm.

En el supuesto B, al tratarse de una construcción situada en la ciudad de Córdoba, el riesgo por corrosión a causa de cloruros de origen marino no es aplicable, siendo la XC4 la única clase de exposición (sequedad y humedad cíclicas). Teniendo en cuenta los datos señalados en el enunciado (hormigón de resistencia característica de 35 MPa, utilización de un Cem II/B-S, y una vida útil de proyecto de 100 años por tratarse de un edificio de uso hospitalario), el recubrimiento nominal para este supuesto será de (Ecuación 5):

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta_c \rightarrow c_{nom} = 25 + 10 = 35 \text{ mm}$$

Ecuación 5. Cálculo del recubrimiento nominal para el Caso A, segundo supuesto.

mientras que el recubrimiento mecánico, teniendo en cuenta los datos incluidos en el croquis (Imagen 2), será de (Ecuación 6):

$$c_{mec} = c_{nom} + \phi_{cercos} + \frac{1}{2}\phi_{arm,long} = 35 + 8 + 8 = 51 \text{ mm}$$

Ecuación 6. Estimación del recubrimiento mecánico a partir del recubrimiento nominal, para el Caso A, segundo supuesto.

Redondeando, y del lado de la seguridad, podría considerarse un recubrimiento mecánico de 55 mm. Nótese la influencia de las condiciones de exposición en los recubrimientos según cada caso de estudio.

5.2 Caso B

Se pide determinar el recubrimiento nominal y mecánico de las armaduras de la cara inferior de las jácenas con las características geométricas que se describen en la figura y que son elaboradas por una empresa de prefabricación. Las piezas se utilizarán para la ejecución de la cubierta de un edificio industrial en Madrid, y estarán protegidas del ambiente exterior. Las condiciones interiores serán de humedad moderada. Además del croquis adjunto (Imagen 3), como datos de proyecto se señala una resistencia característica de 45 MPa y la utilización de un CEM III/A para la fabricación del hormigón.

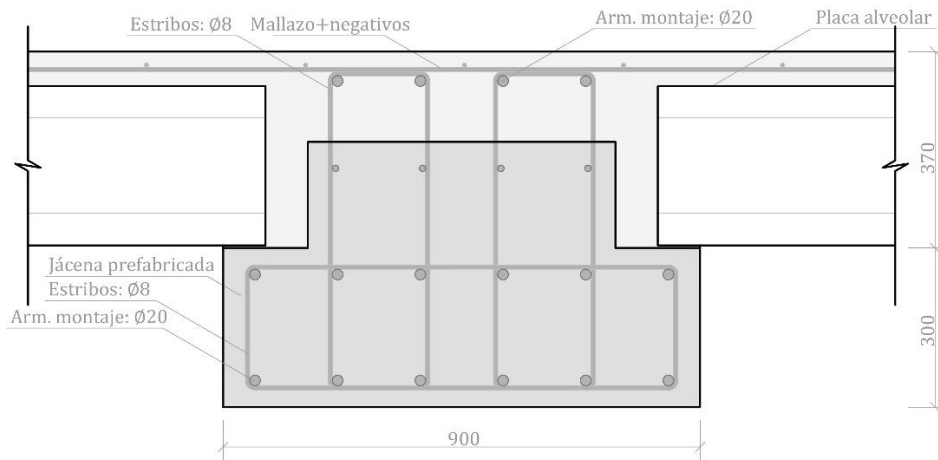


Imagen 3. Esquema jácena de trabajo (Elaboración propia, 2025).

De acuerdo con los datos incluidos en el enunciado, y considerando que se trata de un elemento estructural protegido de la intemperie y únicamente sometido a condiciones de humedad moderada, la clase de exposición que se considerará es XC3 (corrosión inducida por carbonatación en entornos de humedad moderada, Tabla 27.1.a del Código Estructural). Por tanto, el recubrimiento nominal (Ecuación 7) será:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta_c \rightarrow c_{nom} = 15 + 0 = 15 \text{ mm}$$

Ecuación 7. Cálculo del recubrimiento nominal para el Caso B.

donde:

-como valor de Δ_c se ha considerado 0 mm, ya que la Tabla 43.4.1 del Código Estructural señala que en el caso de elementos prefabricados con nivel intenso de control en la instalación de prefabricación debe ser este el valor de referencia;

-por otro lado, el recubrimiento mínimo seleccionado ha sido de 15 mm de acuerdo con lo indicado en el enunciado (características de proyecto) y considerando una vida útil de 50 años por no tratarse de una edificación de especial relevancia (Tabla 1).

El recubrimiento mecánico, teniendo en cuenta los datos del enunciado (Ecuación 8), será de:

$$c_{mec} = c_{nom} + \phi_{cercos} + \frac{1}{2} \phi_{arm, long} = 15 + 8 + 10 = 33 \text{ mm}$$

Ecuación 8. Estimación del recubrimiento mecánico a partir del recubrimiento nominal, en el Caso B.

Redondeando, y del lado de la seguridad, podría considerarse $c_{mec} = 35 \text{ mm}$.

6 Cierre

En este objeto de aprendizaje se ha podido ver de manera teórica la importancia que tiene una selección adecuada del recubrimiento en las construcciones de hormigón armado y la repercusión que puede tener en lo que a durabilidad y vida útil puede tener. Además, se

han descrito tanto el procedimiento de cálculo del recubrimiento como los mínimos exigidos en el Código Estructural, normativa vigente para el dimensionamiento de construcciones de hormigón armado.

A nivel práctico se han aplicado todos los conceptos descritos a distintos ejemplos que han permitido ver la casuística existente en lo que a determinación del recubrimiento se refiere.

Todo esto aglutina uno de los cálculos más sencillos de llevar a cabo en fase de diseño, pero que, a su vez, menos importancia se le otorga y más repercusión puede tener en la vida útil de las construcciones de hormigón armado.

7 Bibliografía

7.1 Libros:

Bertolini, L., Elsener, B., Pedferri, P., Redaelli, E., Polder, R. Corrosion of Steel in Concrete: Prevention, Diagnosis and Repair. Editorial VCH. 2013.

Fernández Cánovas, M. Hormigón. Ed. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Colección Escuelas. 6ª edición. Madrid. 2003.

García Meseguer, A., Morán Cabré, F., Arroyo Portero, JC., Jiménez Montoya. Hormigón Armado. 15ª edición. Ed. Gustavo Gili. Barcelona. 2009.

Pourbaix, M. Atlas of chemical and electrochemical equilibria in aqueous solutions. Materials Science Forum, Houston, Texas, USA: National Association of Corrosion Engineers. 1974.

7.2 Normativa:

Ministerio de Transportes Movilidad y Agenda Urbana. Gobierno de España. Código Estructural. 2021.