Anejo 8

Recomendaciones para la utilización de hormigón con áridos ligeros

Contenidos del capítulo

1 INTRODUCCIÓN 599

2 ALCANCE 599

3 BASES DE PROYECTO 599

4 ANÁLISIS ESTRUCTURAL 599

4.1 ANÁLISIS ESTRUCTURAL 599

5 PROPIEDADES TECNOLÓGICAS DE LOS MATERIALES 600

5.1 MATERIALES 600

5.1.1 Áridos 600

5.1.1.1 Generalidades 600

5.1.1.2 Designación de los áridos 600

5.1.1.3 Tamaños máximo y mínimo de un árido 600

5.1.1.4 Granulometría de los áridos 601

5.1.1.5 Forma del árido grueso 601

5.1.1.6 Requisitos físico-mecánicos 601

5.1.2 Hormigones 601

5.1.2.1 Composición 601

5.1.2.2 Valor mínimo de la resistencia 602

5.1.2.3 Docilidad del hormigón 602

6 DURABILIDAD 602

6.1 DURABILIDAD 602

6.1.1 Durabilidad del hormigón y de las armaduras 602

6.1.1.1 Prescripciones respecto a la calidad del hormigón 602

6.1.1.2 Recubrimientos 602

6.1.1.3 Durabilidad del hormigón 602

6.1.1.4 Requisitos de dosificación y comportamiento del hormigón 602

6.1.1.5 Limitaciones a los contenidos de agua y cemento 603

6.1.1.6 Resistencia del hormigón frente a la erosión 603

7 CÁLCULO 603

7.1 DATOS DE LOS MATERIALES PARA EL PROYECTO 603

7.1.1 Características del hormigón 603

8 EJECUCIÓN 603

8.1 PROCESOS DE ELABORACIÓN, ARMADO Y MONTAJE DE LAS ARMADURAS PASIVAS 603

8.1.1 Criterios generales para los procesos de ferralla 603

8.1.1.1 Doblado 603

8.1.2 Armado de la ferralla 604

8.1.2.1 Distancia entre barras de armaduras pasivas 604

8.1.3 Criterios específicos para el anclaje y empalme de las armaduras 604

8.1.3.1 Anclaje de las armaduras pasivas 604

8.2 FABRICACIÓN Y SUMINISTRO DEL HORMIGÓN 604

8.2.1 Fabricación del hormigón 604

8.2.1.1 Dosificación de materiales componentes 604

8.2.1.2 Amasado del hormigón 605

8.2.2 Transporte y suministro del hormigón 605

8.2.2.1 Transporte del hormigón 605
8.2.3 Puesta en obra del hormigón 605
8.2.3.1 Compactación del hormigón 605

1. Introducción

Las prescripciones y requisitos incluidos en el articulado de este Código se refieren al empleo de áridos de densidad normal, por lo que es necesario establecer recomendaciones diferentes o complementarias cuando se emplean áridos ligeros para producir hormigones estructurales.

Se puede obtener una amplia gama de densidades y propiedades mecánicas teniendo en cuenta que, la sustitución de árido de densidad normal por árido ligero, puede hacerse en forma parcial, remplazando solamente la fracción gruesa del árido, o total, remplazando también la arena por árido fino ligero.

Para distinguir el hormigón ligero del convencional, a los parámetros tenso-deformacionales del hormigón se les añade un subíndice “l”.

2. Alcance

Se define, a los efectos de este anejo, como hormigón con áridos ligeros (HL) aquel hormigón de estructura cerrada, cuya densidad aparente, medida en condición de seco hasta peso constante, es inferior a 2.000 kg/m^3 , pero superior a 1.200 kg/m^3 y que contiene una cierta proporción de árido ligero, tanto natural como artificial. Se excluye a los hormigones celulares, tanto de curado estándar como curados en autoclave.

Es importante resaltar que la densidad aparente (o peso unitario) en el estado fresco es superior al del hormigón de árido normal y depende del grado de saturación del árido ligero y del contenido de agua de amasado.

3. Bases de proyecto

Son aplicables las bases establecidas en el articulado del Código Estructural.

4. Análisis estructural

4.1 Análisis estructural

Son aplicables los principios y métodos de cálculo establecidos en el articulado del Código Estructural.

El coeficiente de dilatación térmica del hormigón con árido ligero depende de las características del árido empleado en su fabricación, con un amplio rango que varía entre $4 \cdot 10^{-6}$ y $14 \cdot 10^{-6}$ ºC^{-1}. En caso de ausencia de datos y para el análisis estructural, se podrá tomar un valor promedio de $8 \cdot 10^{-6}$ ºC^{-1}. A este respecto, no es necesario tener en cuenta las diferencias existentes entre el acero de la armadura y el hormigón con árido ligero.

5. Propiedades tecnológicas de los materiales

5.1 Materiales

5.1.1 Áridos

5.1.1.1 Generalidades

Los áridos ligeros deben tener marcado CE (conforme a la norma UNE-EN 13055-1).

Existen muchos tipos diferentes de áridos ligeros, tanto naturales como artificiales, aptos para producir hormigones con áridos ligeros.

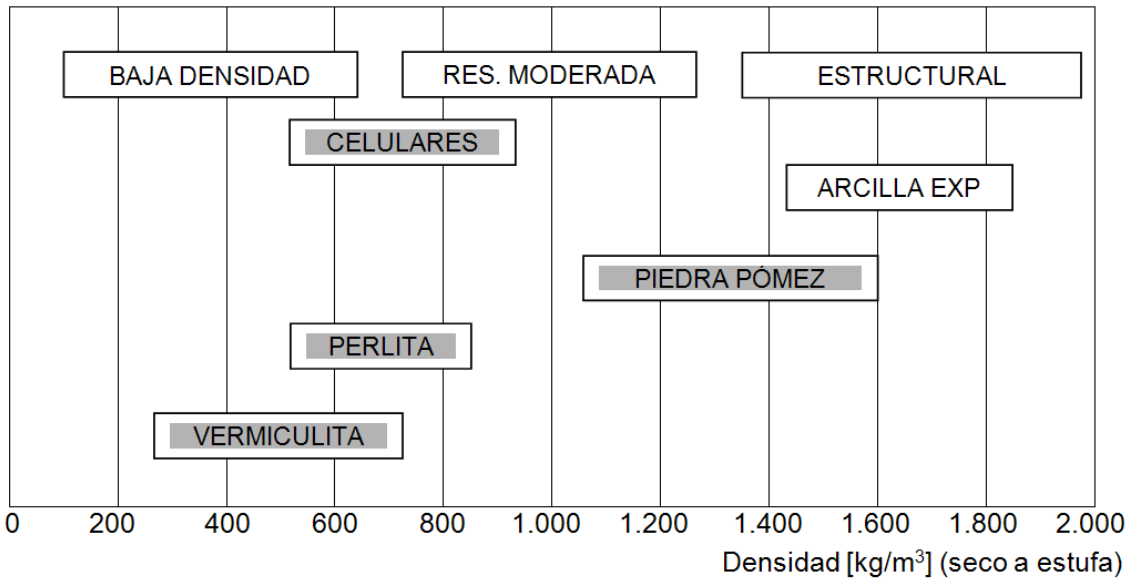


Figura A8.5.1.1 Rangos de densidad y clasificación de hormigones con áridos ligeros

Los hormigones con áridos ligeros contienen áridos ligeros que se sitúan en la zona alta de la escala, y están constituidos por arcillas, pizarras o esquistos expandidos, piedra pómez o áridos sintéticos, obtenidos a partir de materias primas como las cenizas volantes.

5.1.1.2 Designación de los áridos

En la designación de áridos ligeros por tamaño, se tendrá en cuenta que la distribución de tamaños del árido se expresará como porcentaje en masa que pasa un número especificado de tamices, conforme se indica en la norma UNE-EN 13055-1.

5.1.1.3 Tamaños máximo y mínimo de un árido

A efectos del presente Código se denomina tamaño máximo *D* de un árido ligero a la mínima abertura de tamiz según la norma UNE-EN 933-2 por el que pase más del 90% en masa (% desclasificados superiores a *D* que el 10 %), cuando además pase el total por el tamiz de apertura doble (% desclasificados superiores a 2*D* igual al 0 %). Se denomina tamaño mínimo *d* de un árido ligero, la máxima abertura de tamiz UNE-EN 933-2 por el que pase menos del 15 % en masa (% desclasificados inferiores a *d* menor que el 15 %).

5.1.1.3.1 Prescripciones y ensayos

Los áridos ligeros no presentan antecedentes de reacción álcali-árido, por lo que no será necesario proceder a su evaluación con respecto a este tipo de ataque.

5.1.1.4 Granulometría de los áridos

En lo que respecta al análisis granulométrico, el procedimiento usual de tamizado y determinación del peso de la fracción retenida no es suficiente, porque las distintas fracciones de tamaño tienen distinta densidad. Si se trabaja con árido de peso normal y cuya densidad no depende de su tamaño, es posible hacer conversiones de peso a volumen en forma directa.

El mismo procedimiento, aplicado a áridos ligeros, aporta información errónea, justamente porque las distintas fracciones o tamaños poseen diferente densidad. Esto puede tenerse en cuenta si se determina la densidad de cada fracción y se calcula el correspondiente volumen. Hecha esta salvedad, es posible considerar los mismos límites granulométricos establecidos para áridos finos de densidad normal.

5.1.1.5 Forma del árido grueso

Dado que en hormigones con áridos ligeros se emplean áridos artificiales o sintéticos que presentan formas que se aproximan a una esfera o elipsoide, se debe reducir la importancia de los límites impuestos al coeficiente de forma y/o índice de lajas.

5.1.1.6 Requisitos físico-mecánicos

Los áridos ligeros son menos resistentes que los áridos de densidad normal, tanto a la compresión como frente a efectos de desgaste por abrasión y machaqueo. Ante esta situación, no se debe evaluar la resistencia al desgaste del árido grueso ligero por el método de Los Ángeles, según la norma UNE-EN 1097-2, así como tampoco la limitación a la friabilidad del árido fino ligero, evaluada según el ensayo micro-Deval indicado en la norma UNE 146404 EX, debiéndose emplear, cuando sea necesario, el método de ensayo descrito en el Anexo A de la norma UNE-EN 13055.

La capacidad de absorción de los áridos ligeros es normalmente alta, ya que su menor peso se logra a partir de una estructura porosa. No debe aplicarse pues, la limitación a los valores de absorción de agua aun cuando idealmente se elaboran de modo de presentar una superficie lo más cerrada posible, sobre todo si se expresa la absorción en % con respecto al peso del árido, ya que son menos densos, debiéndose emplear, cuando sea necesario, el método de ensayo descrito en el Anexo C de la norma UNE-EN 1097-6.

Dado que se prevé naturalmente una elevada absorción, para evitar que este fenómeno altere sensiblemente las propiedades del hormigón fresco (pérdidas de asentamiento, por ejemplo), deben adoptarse distintos métodos o tratamientos previos del árido durante el proceso de elaboración del hormigón.

En lo que respecta a la resistencia de los hormigones con áridos ligeros frente a la helada, la presencia de aire incorporado en el hormigón contribuye a reducir el deterioro, en forma semejante a lo que ocurre para hormigones de densidad normal. El grado de saturación del hormigón (y del árido) es un factor determinante, así como el nivel adecuado de resistencia. La evaluación de la aptitud del árido frente a ciclos de tratamiento con soluciones de sulfato de magnesio, según el método de la norma UNE-EN 1367-2 no puede aplicarse, ya que la baja resistencia intrínseca del árido ligero y su elevada absorción indican una probabilidad remota de cumplimiento, debiéndose emplear, cuando sea necesario, el método de ensayo descrito en el Anexo C de la norma UNE-EN 13055. En general, se debe evaluar la aptitud del hormigón frente a ciclos de hielo y deshielo. Una elevada resistencia, la inclusión de aire incorporado y un bajo grado de saturación del árido (y del hormigón) contribuyen a mejorar significativamente el comportamiento.

5.1.2 Hormigones

5.1.2.1 Composición

En los hormigones con áridos ligeros, las proporciones de mezcla, el grado de saturación previa del árido ligero e incluso el tipo y variedad de árido ligero, tienen influencia directa sobre las propiedades del hormigón con áridos ligeros, tanto en estado fresco como en estado endurecido. Por este motivo, la

composición del hormigón y el procedimiento de pre-acondicionamiento del árido ligero deberán estudiarse previamente, sin excepción, a los efectos de asegurarse de que es capaz de proporcionar hormigones cuyas características mecánicas, reológicas y de durabilidad satisfagan las exigencias del proyecto.

5.1.2.2 Valor mínimo de la resistencia

La resistencia de proyecto fl_{ck} (véase el apartado 33.4 de este Código) no será inferior a 12 N/mm^2 en hormigón en masa, ni a 25 N/mm^2 en hormigones armados o pretensados.

5.1.2.3 Docilidad del hormigón

Los conceptos establecidos en el apartado 33.5 de este Código pueden aplicarse sin necesidad de alteraciones. Sin embargo, las características propias del método de ensayo recogido en la norma UNE-EN 12350-2 hacen que el asentamiento infravalore la aptitud del hormigón con áridos ligeros para ser compactado.

El asentamiento en el tronco de cono se debe a la deformación del hormigón bajo su propio peso. La densidad del hormigón con áridos ligeros es inferior a la del hormigón convencional, razón por la cual ofrece mayor docilidad para asentamientos equivalentes.

Por este mismo motivo, no se considera prudente superar el límite superior para la consistencia fluida, aun con el empleo de aditivos superfluidificantes.

6. Durabilidad

6.1 Durabilidad

6.1.1 Durabilidad del hormigón y de las armaduras

6.1.1.1 Prescripciones respecto a la calidad del hormigón

Para niveles equivalentes de resistencia, los hormigones con áridos ligeros poseen una matriz de mortero usualmente más resistente que la correspondiente a un hormigón de peso normal. Por ello, es suficiente indicar que la durabilidad se asegura con el cumplimiento de clases resistentes, según se indica en el apartado 43.2.1 de este Código. Obviamente, los requisitos relativos al contenido mínimo de cemento y máxima relación agua/cemento también deben cumplirse.

6.1.1.2 Recubrimientos

Los recubrimientos mínimos para el hormigón con áridos ligeros deben ser 5 mm superiores a lo que indica el Artículo 44 de este Código.

6.1.1.3 Durabilidad del hormigón

Los hormigones con áridos ligeros no presentan, en general, un buen comportamiento frente a la erosión, dado que el árido ligero es usualmente blando. Con excepción de esta situación, su comportamiento es similar al de los hormigones convencionales de densidad normal.

6.1.1.4 Requisitos de dosificación y comportamiento del hormigón

Para conseguir una durabilidad adecuada del hormigón, se deben cumplir los requisitos siguientes:

a) Requisitos generales:

- Mínimo contenido de cemento, según el apartado 43.2.1 de este Código.
- Clase resistente según el apartado 43.2.1 de este Código.

La determinación precisa de la relación agua/cemento no es directa, dado que los áridos ligeros se presaturan parcialmente de agua y son capaces de una absorción adicional. Por este motivo, se sustituye la limitación a la relación agua/cemento por la clase resistente.

b) Requisitos adicionales:

No es prudente exponer hormigones con áridos ligeros al desgaste por abrasión en forma permanente. Ante una acción eventual y mientras las partículas de árido ligero estén cubiertas por una capa de mortero, los hormigones con áridos ligeros son capaces de soportar erosión.

6.1.1.5 Limitaciones a los contenidos de agua y cemento

En función de las clases de exposición a las que vaya a estar sometido el hormigón, definidas de acuerdo con el apartado 27.1 de este Código, se deberán cumplir las especificaciones recogidas en el apartado 43.2 de este Código, relativas a la clase resistente, descontando el agua de absorción de los áridos.

6.1.1.6 Resistencia del hormigón frente a la erosión

No se recomienda el empleo de hormigones con áridos ligeros, para clase de exposición XM1, XM2, y XM3. Esto no inhabilita a los hormigones con áridos ligeros para soportar erosión eventual, pero el mecanismo de desgaste no está controlado por la resistencia del árido, como es el caso del hormigón de densidad normal.

7 Cálculo

7.1 Datos de los materiales para el proyecto

7.1.1 Características del hormigón

Las características mecánicas del hormigón con áridos ligeros (deformación última, módulo de deformación longitudinal, resistencia a tracción), para una misma resistencia a compresión, dependen en gran medida de la densidad de éste, siendo mayores conforme aumenta la densidad en seco del hormigón con áridos ligeros.

Los datos y características para el proyecto del hormigón con áridos ligeros, así como los diagramas tensión-deformación aplicables para el análisis estructural y para el cálculo de secciones, serán los indicados en el apartado 11.3 del Anejo 19 de este Código.

8 Ejecución

8.1 Procesos de elaboración, armado y montaje de las armaduras pasivas

8.1.1 Criterios generales para los procesos de ferralla

8.1.1.1 Doblado

Al objeto de evitar compresiones excesivas y hendimientos del hormigón con áridos ligeros en la zona de curvatura de las barras, el doblado de las mismas para la formación de ganchos y patillas en U, se realizará con mandriles de diámetro no inferior a los indicados en la tabla 49.3.4 de este Código, pero multiplicados por 1,5.

El resto del contenido del apartado 49.3.4 de este Código es aplicable al hormigón con áridos ligeros.

8.1.2 Armado de la ferralla

8.1.2.1 Distancia entre barras de armaduras pasivas

Barras aisladas

El diámetro máximo de barra a emplear en hormigón con áridos ligeros será Φ = 32 mm.

El resto del contenido del apartado 49.4.1 de este Código es aplicable al hormigón con áridos ligeros.

Grupos de barras

En hormigón con áridos ligeros, los grupos de barras estarán constituidos, como máximo, por dos barras.

8.1.3 Criterios específicos para el anclaje y empalme de las armaduras

8.1.3.1 Anclaje de las armaduras pasivas

La longitud básica de anclaje de las barras corrugadas en hormigón con áridos ligeros es la indicada en el apartado 49.5.1 de este Código multiplicada por el factor $1/\eta_1$, siendo:

$$\eta_1 = 0{,}40 + 0{,}60\frac{\rho}{2200}$$

y donde ρ es el valor de la densidad del hormigón con áridos ligeros secado en estufa (≤ 2.000 kg/m^3).

8.2 Fabricación y suministro del hormigón

8.2.1 Fabricación del hormigón

8.2.1.1 Dosificación de materiales componentes

En el caso de hormigón con áridos ligeros, la realización de ensayos previos, con objeto de comprobar que satisface las condiciones que se le exigen, es el modo establecido para aceptar la dosificación prevista y sancionar el procedimiento de ejecución del hormigón.

La gran cantidad de absorción de agua, que, generalmente, presentan los áridos ligeros en estado seco, hace difícil predeterminar la relación “agua/cemento” real que corresponde a la dosificación prevista. Si el estado de aquellos es saturado, lo que no se consigue de modo inmediato, puede ocasionarse, desde la corteza accesible a los fenómenos de capilaridad, un proceso de transferencia de agua a la pasta del hormigón que también altera la relación “agua/cemento” prevista. En el primer caso disminuirá la trabajabilidad del hormigón con áridos ligeros, y en el segundo, su resistencia.

La complejidad del problema da lugar a diversos procedimientos para ejecutar el hormigón, que escapan a una regulación única. Por otra parte, el correcto resultado de la dosificación prevista es muy sensible a pequeños ajustes del procedimiento de ejecución. Por tanto, se establecen los ensayos previos como método de validación de la dosificación y del procedimiento de ejecución, como proceso único e indivisible.

El resto del contenido del apartado 51.3.2.1 de este Código es aplicable al hormigón con áridos ligeros.

8.2.1.1.1. Áridos

En la ejecución de hormigón con áridos ligeros, la dosificación de los áridos puede realizarse en peso, en volumen, o de modo mixto, de modo que el árido ligero se dosifica en volumen y el resto en peso.

El resto del contenido del apartado 51.3.2.3 de este Código es aplicable al hormigón con áridos ligeros.

8.2.1.2 Amasado del hormigón

Para el amasado del hormigón con áridos ligeros se utilizará, en general, más tiempo que para el hormigón convencional. Este incremento del tiempo de amasado se destinará a la humectación de los áridos, antes de añadir el cemento, y a homogeneizar la masa después de añadir el aditivo, posteriormente a la adición del agua total de amasado. Estos tiempos están destinados a evitar que la rápida absorción de agua y de aditivo por parte del árido ligero, reste trabajabilidad a la masa de hormigón y eficacia a la acción del propio aditivo.

La baja densidad del árido ligero puede ocasionar, al inicio del amasado y en función del grado de saturación de agua que presente al entrar en la amasadora, la flotación del mismo, lo que puede llegar a determinar el aprovechamiento eficaz de la amasadora.

El resto del contenido del apartado 51.3.3 de este Código es aplicable al hormigón con áridos ligeros.

8.2.2 Transporte y suministro del hormigón

8.2.2.1 Transporte del hormigón

Si se realiza el transporte de hormigón con áridos ligeros por tubería (bombeo), se debe considerar la influencia de la presión de bombeo en el incremento de absorción de agua por parte de los áridos ligeros, así como del decremento correspondiente cuando aquella cesa. En el primer caso, se producirá una pérdida de trabajabilidad y en el segundo, un exceso en la relación agua/cemento. En el primer supuesto se dificultará la puesta en obra y, fundamentalmente, la propia operación de bombeo y, en el segundo, se producirá una pérdida de resistencia en el hormigón afectado, así como una pérdida de compacidad en su estructura interna. En consecuencia, deben preverse estas alteraciones en la dosificación.

Los correspondientes ensayos previos del hormigón con áridos ligeros, después de bombeado, constituyen el procedimiento de validación del mismo.

El transporte en camión hormigonera permite, mediante un amasado previo al vertido, corregir la tendencia a la disminución de la docilidad que se produce, en todos los casos, durante el mismo, así como la tendencia a la segregación del árido ligero durante el transporte de los hormigones de mayor docilidad.

El resto del contenido del apartado 51.4.1 de este Código es aplicable al hormigón con áridos ligeros.

8.2.3 Puesta en obra del hormigón

8.2.3.1 Compactación del hormigón

La compactación del hormigón con áridos ligeros exige mayor energía de vibración que la demandada por un hormigón normal. En consecuencia, la compactación se realizará reduciendo la separación entre las posiciones consecutivas de los vibradores al 70% de la utilizada para un hormigón normal.

La tendencia a la flotación del árido ligero crece con vibraciones excesivas. El acabado superficial de la cara por la que se coloca el hormigón debe realizarse mediante un utillaje adecuado para presionar el árido ligero e introducirlo en la masa, de modo que quede recubierto por la lechada.