

Documento:



Eh-1

UNIDAD CONSTRUCTIVA

MATERIALES COMPONENTES DEL HORMIGÓN

DESCRIPCIÓN

Todos aquellos materiales utilizados como materia prima en la fabricación del hormigón (Cemento, agua, áridos, aditivos y adiciones).

DAÑO

OXIDACIÓN Y/O CORROSIÓN DEL PROPIO MATERIAL Y FISURACIONES EN ELEMENTO ESTRUCTURAL

ZONAS AFECTADAS

Estructura, compartimentaciones y acabados



Fig. 1: Suministro de arena en planta de hormigones



Fig. 2: Vista general planta de hormigones

El **hormigón** es el material resultante de la mezcla y amasado de **cemento, áridos, agua** y, en su caso, **aditivos y adiciones**.

El hormigón como elemento estructural es muy utilizado en obras de edificación y obra civil, al presentar por un lado la posibilidad de manipulación del hormigón fresco y por otro una elevada resistencia a compresión del hormigón endurecido. Estas características permiten su colocación en diferentes formas y elementos en su estado fresco que, una vez fraguado y endurecido, proporciona altas resistencias a compresión.

Los cementos deberán estar sujetos a lo previsto en el Real Decreto 1630/1992, de 29 de diciembre (modificado por el Real Decreto 1328/1995, de 28 de julio), por el que se dictan disposiciones para la libre circulación de productos de construcción, en aplicación de la Directiva 89/106/CEE modificada por la Directiva 93/68/CE y, en su caso, a lo previsto en el Real Decreto 1313/1988, de 28 de octubre, por el que se declara obligatoria la homologación de los cementos destinados para la fabricación de hormigones y morteros para todo tipo de obras y productos prefabricados, y disposiciones que lo desarrollan.



Fig. 3: Acopio de cemento en sacos



Fig. 4: Silos almacenamiento de cemento a granel

RECOMENDACIONES TÉCNICO-CONSTRUCTIVAS

❖ Cemento.

Material de construcción compuesto por caliza y arcilla que al mezclarse con agua forma una pasta que se endurece y utiliza como aglomerante en morteros y hormigones.

La elección del tipo de cemento se realizará en función de la aplicación o uso específico a que se destine, de las condiciones de puesta en obra y de la clase de exposición a la que va a estar sometido el hormigón.

La Instrucción para la recepción de cementos actualmente vigente (RC-16) y modificada según el RD 320/2024, es el marco regulatorio para el empleo de cementos en la construcción, estableciendo los requisitos que deben cumplir los cementos y regulando su recepción en las obras de construcción, en las centrales de fabricación de hormigón y en cualesquiera otras instalaciones, como en aquellas en las que se fabriquen productos de construcción en los que en su composición se emplee cemento.

La clasificación de los tipos de cemento, según UNE EN 197-1 y UNE-EN 197-5, es la siguiente:

- Cementos Comunes: CEM I (Cemento portland), CEM II (cemento portland con escorias, humo de sílice, puzolana, ceniza volante, etc.), CEM III (Cementos con escorias de horno alto), CEM IV (Cementos puzolánicos), CEM V (Cementos portland compuestos) y CEM VI (Cementos compuestos).
- Cementos comunes resistentes a los sulfatos: CEM I a V/SRC.
- Cementos comunes de bajo calor de hidratación: CEM I a VI-LH.
- Cementos comunes resistentes al agua de mar: CEM I a V/MR.
- Cementos especiales de muy bajo contenido de hidratación: VLH III (Cemento de escorias de horno alto), VLH IV (Cemento puzolánico) y VLH V (Cemento compuesto).

El comportamiento de los cementos puede verse afectado por las condiciones de puesta en obra de los productos que los contienen, entre las que caben destacar los factores climáticos (temperatura, humedad relativa del aire y velocidad del viento), los procedimientos de ejecución del hormigón (colocado en obra, proyectado, prefabricado, etc.) y las clases de exposición ambiental. Estas condiciones y procedimientos tienen una gran influencia en el curado y, además pueden condicionar el posterior endurecimiento del hormigón, así como pueden afectar a la durabilidad del mismo.

En la tabla siguiente se recogen los cementos recomendados para su uso en la fabricación de hormigones a emplear en aplicaciones de tipo estructural (Tabla AVIII.2.1 RD 320/2024).

| APLICACIÓN | CEMENTOS RECOMENDADOS |
|--|--|
| Hormigón en masa. | Todos los cementos comunes, excepto los tipos CEM II/A-Q, CEM II/B-Q, CEM II/A-W, CEM II/B-W, CEM II/A-T, CEM II/B-T, CEM II/CM (WT) y CEM III/C. Cementos para usos especiales ESP VI-1. |
| Hormigón armado. | Todos los cementos comunes excepto los tipos CEM II/A-Q, CEM II/B-Q, CEM II/A-W, CEM II/B-W, CEM II/A-T, CEM II/B-T, CEM III/C y CEM V/B. |
| Hormigón pretensado, incluidos los prefabricados estructurales. | Cementos comunes de los tipos CEM I, CEM II/A-D, CEM II/A-V, CEM II/A-P y CEM II/A-M (VP). |
| Elementos estructurales prefabricados de h. armado. | Resultan muy adecuados los cementos comunes de los tipos CEM I, CEM II/A y adecuado el cemento común tipo CEM IV/A cuando así se deduzca de un estudio experimental específico. |
| Hormigón en masa y armado en grandes volúmenes. | Resultan muy adecuados los cementos comunes CEM III/B y CEM IV/B y adecuados los cementos comunes tipo CEM II/B, CEM III/A, CEM IV/A, CEM V/A. CEM II/C-M (excepto los CEM II/C-M (WT) y CEM-VI. Cementos para usos especiales ESP VI-1 Es muy recomendable la característica adicional de bajo calor de hidratación (LH) y de muy bajo calor de hidratación (VLH), según los casos. |
| Hormigón de alta resistencia. | Muy adecuados los cementos comunes tipo CEM I y adecuados los cementos comunes tipo CEM II/A-D y CEM II/A 42,5 R. El resto de los cementos comunes tipo CEM II/A pueden resultar adecuados cuando así se deduzca de un estudio experimental específico. |
| Hormigones parra reparaciones rápidas de urgencia. | Los cementos comunes tipo CEM I, CEM II/AD, y el cemento de aluminato de calcio (CAC). |
| Hormigones para desencofrado y descimbrado rápido. | Los cementos comunes tipo CEM I y CEM II (excepto CEM II/C-M). |
| Hormigón proyectado. | Los cementos comunes tipo CEM I y CEM II/A. |
| Hormigones con áridos potencialmente reactivos. | Resultan muy adecuados los cementos comunes tipo CEM III, CEM IV, CEM V, CEM II/A-D, CEM II/B-S y CEM II/B-V, y adecuados los cementos comunes tipo CEM II/B-P y CEM II/B-M, CEM II/C-M (excepto los cementos CEM II/C-M (WT) y CEM VI. |

Tabla 1: Cementos recomendados para la utilización en hormigones estructurales

En la tabla siguiente se recogen los cementos recomendados para su uso en la fabricación de hormigones estructurales en determinadas circunstancias de hormigonado (Tabla AVIII.2.3 RC-16).

| CIRCUNSTANCIA DEL HORMIGONADO | CEMENTOS RECOMENDADOS |
|--|---|
| Hormigonado en tiempo frío. | Los cementos comunes tipo CEM I, CEM II/A y CEM IV/A. |
| Hormigonado en ambientes secos y sometidos al viento y, en general, en condiciones que favorecen la desecación del hormigón. | Cementos comunes tipo CEM I y CEM II/A |
| Insolación fuerte u hormigonado en tiempo caluroso. | Los cementos comunes tipo CEM II, CEM III/A, CEM IV/A y CEM V/A |

Tabla 2: Cementos recomendados en determinadas circunstancias de hormigonado

En la tabla siguiente se recogen los cementos recomendados para la fabricación de hormigones según las clases de exposición, contempladas en la tabla AVIII.2.4 del RD 320/2024, a las que vayan a estar sometidas:

| CLASE DE EXPOSICIÓN | TIPO DE PROCESO (Agresividad debida a) | CEMENTOS RECOMENDADOS |
|---------------------|---|---|
| XO | Sin riesgo de ataque por corrosión | Todos los recomendados, según la aplicación prevista. |
| XC | Corrosión de las armaduras por carbonatación | CEM I, cualquier CEM II (preferentemente CEM II/A), CEM III/A, CEM IV/A. |
| XS ⁽¹⁾ | Corrosión de las armaduras por cloruros de origen marino. | Muy adecuados los cementos CEM II/S, CEM II/V (preferentemente los CEM II/BV), CEM II/P (preferentemente los CEM II/B-P), CEM II/A-D, CEM III, CEM IV (preferentemente los CEM IV/A) y CEM V/A. |
| XD | Corrosión de las armaduras por cloruros de origen no marino. | Preferentemente, los CEM I y CEM II/A y, además, los mismos que para la clase de exposición XS. |
| XA ⁽²⁾ | Ataques químicos | Los mismos que para la exposición XS |
| XA | Lixiviación del hormigón por aguas puras, ácidas, o con CO ₂ agresivo. | Los cementos comunes de los tipos CEM II/P, CEM II/V, CEM II/A-D, CEM II/S, CEM III, CEM IV y CEM V. |
| - ⁽³⁾ | Reactividad álcali-árido. | Cementos de bajo contenido en alcalinos (óxidos de sodio y de potasio) en los que $(Na_2O)_{eq} = Na_2O (\%) + 0,658 K_2O (\%) < 0,60$. |

Tabla 3: Cementos recomendados según las diferentes clases de exposición

(1) En esta clase de exposición es necesario cumplir las prescripciones relativas al empleo de la característica adicional de resistencia al agua de mar (MR), tal y como establece el Código Estructural vigente.

(2) En esta clase de exposición es necesario cumplir las prescripciones relativas al empleo de la característica adicional de resistencia a los sulfatos (SR/SRC, de acuerdo con la norma UNE-EN 197-1 o UNE 80303-1, según corresponda), en el caso de que la clase específica sea XA2 o XA3, tal y como establece el Código Estructural vigente. En los casos en que el elemento esté en contacto con agua de mar será necesario únicamente cumplir las prescripciones relativas al empleo de la característica adicional de resistencia al agua de mar (MR).

(3) Son especialmente recomendables los cementos citados en la tabla AVIII.2.1 para hormigones con áridos potencialmente reactivos (que deberán cumplir igualmente el requisito de bajo contenido en alcalinos).»

Los problemas o anomalías que pueden presentar los cementos son, entre otros:

- Falso fraguado si se produce una hidratación rápida del yeso.
- A mayor contenido de cemento y/o mayor finura de molido, mayor aumento de la retracción.
- Retracción por exceso calor de hidratación
- Las fisuras por retracción hidráulica que surgen en el proceso de endurecimiento del hormigón se manifiestan en grupos y se cortan en ángulos rectos. Aparecen en las primeras semanas del hormigonado.
- Reacciones con los áridos, ya que los álcalis del cemento pueden reaccionar con los áridos silíceos, dando compuestos expansivos.
- El exceso de cal libre, al ser expansivo, puede producir fisuraciones en el hormigón.

Hay que tener en cuenta que en el caso que los cementos cuenten con adiciones (cenizas volantes, escorias, puzolanas o filler calizo), en general, suelen aumentar la retracción, por lo que es necesario tenerlo muy presente durante el proceso del curado.

Evitar dosificaciones excesivas de cemento, ya que aumentan los problemas de retracción del hormigón.

En el caso de presencia de sulfatos, la utilización de cementos sulforresistentes (SR), para la clase específica XA1, XA2 y XA3, como establece el articulado definido en la Instrucción para la recepción de cementos (RC-16), modificada por el RD 320/2024.

❖ Agua.

El agua utilizada, tanto para el amasado como para el curado del hormigón en obra, no debe contener ningún ingrediente perjudicial en cantidades tales que afecten a las propiedades del hormigón o a la protección de las armaduras frente a la corrosión.

Todas aquellas aguas que estén sancionadas como aceptables por la práctica, en general, podrán ser utilizadas para la confección y curado de los hormigones.

Cuando no se posean antecedentes de su utilización, o en caso de duda, deberán analizarse las aguas, y salvo justificación especial de que no alteran perjudicialmente las propiedades exigibles al hormigón, deberán cumplir las condiciones indicadas en la tabla 29 del Código Estructural, que se relacionan a continuación:

| Características del agua | Limitación | Norma |
|--|------------|-----------|
| Exponente de hidrógeno pH | ≥ 5 | UNE 83952 |
| Sulfatos (en general), expresado en SO ₄ ²⁻ | ≤ 1g/l | UNE 83956 |
| Sulfatos (cementos SRC y SR) expresados en SO ₄ ²⁻ | ≤ 5 g/l | |
| ión cloruro | ≤ 1g/l | UNE 83958 |
| a) hormigón pretensado b) hormigón armado y hormigón en masa con armaduras para evitar fisuración | ≤ 2 g/l | |
| Álcalis, expresado en Na ₂ Oequiv (1) (Na ₂ O + 0,658 K ₂ O) | ≤ 1,5 g/l | (2) |
| Sustancias disueltas | ≤ 15 g/l | UNE 83957 |
| Hidratos de carbono | = ≤ 0 g/l | UNE 83959 |
| Sustancias orgánicas solubles en éter | ≤ 15 g/l | UNE 83960 |

Tabla 4: Ensayos y limitaciones al agua para su uso en hormigones, en caso de no estar aceptada por la práctica

(1) Si se sobrepasa este límite, se podrá utilizar el agua solo en el caso de que se acredite haber medidas para evitar posibles reacciones álcali-árido.

(2) La determinación de álcalis se podrá realizar mediante la técnica de fotometría de llama o espectroscopia de masa con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS).

Se podrán utilizar agua del mar o salinas para el amasado o curado de hormigones en masa que no contengan armadura alguna., prohibiéndose expresamente el empleo de estas aguas para el amasado o curado de hormigón pretensado o armado.

Se permite el empleo de aguas recicladas procedentes de operaciones desarrolladas en la propia central de hormigonado, siempre y cuando cumplan las especificaciones indicadas en el artículo 29 del Código Estructural. Además, se deberá de cumplir que el valor de densidad del agua reciclada no supere el valor de 1,3 g/cm³ y la densidad del agua total no supere el valor de 1,1 g/cm³.

La cantidad total de finos en el hormigón, resultante de sumar el contenido de partículas del árido grueso y del árido fino que pasan por el tamiz 0,063 (UNE-EN 933-1 y la componente caliza, en su caso, del cemento, deberá ser inferior a 200 kg/m³. En el caso de emplearse agua reciclada, de acuerdo con el Artículo 29, dicho límite podrá incrementarse hasta 210 kg/m³. Exclusivamente para el caso de los hormigones autocompactantes, se recomienda que esta cantidad no sea mayor a 250 kg/m³, según el apartado 33.1 del Código Estructural.

Los problemas o anomalías que pueden presentar el agua, en la confección del hormigón, son principalmente:

- El exceso de agua en el amasado disminuye considerablemente la resistencia final del hormigón.
- En el caso de sustancias nocivas disueltas en el agua que produzcan corrosión química del hormigón.

❖ Áridos

Los áridos son productos granulares inertes, de naturaleza orgánica, procedentes en general, de las rocas, interviniendo en la composición del hormigón.

Los áridos constituyen entre el 70 y el 80% del volumen total del hormigón, siendo esenciales para determinar su resistencia, colaborando en evitar o disminuir las fisuraciones por retracción.

En la fabricación de hormigones pueden emplearse **áridos gruesos** (grava) y **áridos finos** (arenas), rodados o procedentes de rocas machacadas, así como escorias de horno alto enfriadas por aire o áridos reciclados, según la norma UNE-EN 12620 y, en general, cualquier otro tipo de árido cuya evidencia de buen comportamiento haya sido sancionado por la práctica y quede debidamente justificado.

Los áridos de origen silíceo aportan buenas propiedades al hormigón. Los calizos duros (casi siempre de machaqueo) son buenos, pero algo menos duros y más alterables que los silíceos.



Fig. 5: Árido grueso rodado de río

Fig. 6: Áridos finos (Arena de río)

Fig. 7: Árido grueso de roca machacada

Los áridos de origen eruptivo no son recomendables, debido a la caolinización de los feldespatos. Los más usados son los granitos, sienitas y gabros, siempre que se encuentren sanos. Las escorias de horno alto no han de contener silicatos inestables ni compuestos ferrosos, por lo que se ha de comprobar que son estables., según lo establecido en apartado 30.9 del Código Estructural.

En el caso de áridos **reciclados**, se seguirá lo establecido en el apartado 30.8 del Código Estructural.

Las anomalías que pueden presentar los áridos, en la confección del hormigón, son principalmente:

- Los áridos que contienen compuestos de azufre (S), como la pirita, pirrotina o la marcasita, reaccionan con el cemento dando compuestos expansivos con gran incremento de volumen, que destruyen completamente la masa del hormigón, lo que pueden ocasionar patologías muy severas. No podrá exceder del 1% en masa del peso total de la muestra (artículo 11 de la UNE-EN 1744-1).
- El contenido en sulfatos solubles en ácido (SO_3) de los áridos grueso y fino no excederá del 0,8%
- La materia orgánica altera la velocidad de fraguado y el endurecimiento del hormigón.
- El contenido en ión cloro (Cl^-) soluble en agua de los áridos grueso y fino para hormigón, determinado según la norma UNE-EN 1744-1, no podrá exceder del 0,05 % en masa del árido, cuando se utilice en hormigón armado o en masa que contengan armaduras para reducir la fisuración, y no podrá exceder del 0,03%, cuando se utilice en hormigón pretensado (Apdo. 30.7 del Código Estructural), ya que favorecen la corrosión de las armaduras.
- Para clases de exposición diferentes a X0, XC1 o XM asociadas a un ambiente permanentemente seco, se deberá comprobar la potencial reactividad de los áridos frente a los álcalis (Apdo. 30.7.5 del Código Estructural).

❖ Aditivos

Los aditivos son productos incorporados al conglomerante antes del amasado, en una proporción no superior al 5% del peso de cemento, para mejorar las prestaciones del hormigón, en estado fresco o endurecido, de algunas de sus características, de sus propiedades habituales o de su comportamiento.

Existen varios tipos de aditivos: -Reductores de agua (Plastificante y Superplastificantes: para una mejor trabajabilidad disminuyendo el contenido de agua). - Modificadores de fraguado (Aceleradores o Retardadores: modifican el tiempo de fraguado de un hormigón). – Inclusores de aire: para mejorar su comportamiento frente a las heladas. – Multifuncionales: modifican más de una de las funciones anteriores.

Las anomalías o problemas que pueden presentar los aditivos, en el hormigón, son principalmente:

- La utilización de inclusores de aire (aireantes) para elementos pretensados mediante armaduras ancladas exclusivamente por adherencia, ya que pueden perjudicar la adherencia entre el hormigón y la armadura.
- La utilización del cloruro de calcio como acelerante en el hormigón armado o pretensado, provoca a veces y favorece siempre, fenómenos de corrosión de las armaduras, por lo que está prohibido su uso.
- Los plastificantes son los aditivos con menos problemas.

❖ Adiciones

Las adiciones son materiales inorgánicos, puzolánicos o con hidraulicidad latente que, pueden ser añadidos al hormigón con el fin de mejorar sus propiedades o conferirle características especiales. El artículo 32 del Código Estructural recoge únicamente la utilización de las **cenizas volantes** y el **humo de sílice** como adiciones al hormigón en el momento de su fabricación.

Para el uso de cenizas volantes o humo de sílice como adición al hormigón, deberá emplearse un cemento tipo CEM I. Además, en el caso de cenizas volantes, el hormigón deberá presentar un nivel de garantía conforme a lo indicado en el artículo 18 del Código Estructural, es decir, mediante la posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido.

En el caso de hormigones de alta resistencia, fabricados con cemento CEM I, se permite la adición simultánea de cenizas volantes y humo de sílice, siempre que el porcentaje de este último no sea superior al 10% y que el porcentaje total de adiciones (ceniza volantes y humo de sílice) no sea superior al 20% del peso del cemento.

En elementos no pretensados, en estructuras de edificación, la cantidad máxima de cenizas volantes adicionadas no será superior al 35% del peso del cemento, mientras que la cantidad máxima de humo de sílice adicionado no exceda del 10% del peso de cemento, según el apartado 43.2.1 del Código Estructural.

❖ Comprobación de la conformidad de los materiales componentes del hormigón

La dirección facultativa, podrá disponer en cualquier momento la realización de comprobaciones o ensayos sobre los materiales que se empleen para la elaboración del hormigón que se suministra en obra.

En el caso de productos que no dispongan del marcado CE, la comprobación de su conformidad, según el artículo 56 del Código Estructural, comprenderá:

- a) Un control documental,
- b) En su caso, un control mediante distintivo de calidad o procedimientos con garantía adicional equivalente (artículo 18 del Código Estructural), y
- c) En su caso, un control experimental, mediante la realización de ensayos.
- Control documental

| Comprobación de la conformidad de los materiales componentes del hormigón (Art.º 21 del Código E.) | | Sin Distintivo de Calidad Oficialmente Reconocido | Con Distintivo de Calidad Oficialmente Reconocido |
|--|------------------|--|---|
| MATERIA PRIMAS | Cemento | Disponer del marcado CE o Certificación de conformidad del Real Decreto 1313/1988. Distintivo de calidad, si disponen de él. | NO SE PRECISA |
| | Agua | Se podrá eximir de la realización de ensayos cuando se utilice agua potable de la red de suministro. Otros casos, ensayos con antigüedad inferior a seis meses. | |
| | Áridos | Disponer del marcado CE. Si son de autoconsumo: ensayo con antigüedad inferior a tres meses. | |
| | Aditivos | Disponer del marcado CE. | |
| | Adiciones | Disponer del marcado CE. | |
| CERTIFICADO DE DOSIFICACIÓN | | Modelo definido en el Anejo 4 del Código Estructural | NO SE PRECISA |

Tabla 5: Comprobación de la conformidad de los materiales componentes del hormigón

REFERENCIAS

| FUNDACIÓN MUSAAT | |
|--|--|
| AUTOR ● Alberto Moreno Cansado | Calle del Jazmín, 66. 28033 Madrid www.fundacionmusaat.musaat.es |

| IMÁGENES |
|--|
| ● Alberto Moreno Cansado: Fig. 1, 2, 3, 5, 6, 7. ● Constmach (CS-50): Fig. 4. |

| BIBLIOGRAFÍA y NORMATIVA |
|---|
| ● Código Estructural ● Instrucción para la recepción de cementos (RC-16). ● Juan Pérez Valcárcel. Patología de estructuras de hormigón armado ● Normas: UNE EN 197-1. UNE-EN 197-5, UNE 83952, UNE 83956, UNE 83958, UNE 83957, UNE 83959, UNE 83960, UNE-EN 933-1, UNE-EN 12620 y UNE-EN 1744-1. |

| | | | | | | |
|-----------------|------------------------|-------------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| CONTROL: | ISSN: 2340-7573 | Data: 18/4 | Ord.: 13 | Vol.: E | Nº: Eh-1 | Ver.: 2 |
|-----------------|------------------------|-------------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|

NOTA: Los conceptos, datos y recomendaciones incluidas en este documento son de carácter orientativo y están pensados para ser ilustrativos desde el punto de vista divulgativo, fundamentados desde una perspectiva teórica, así como redactados desde la experiencia propia en procesos patológicos.

© del Autor

© de esta publicación, Fundación MUSAAT

Nota:

En este documento se incluyen textos de la normativa vigente